

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí technika

**Telemetrie mobilních prostředků s využitím bezdrátového
přenosu na střední vzdálenosti s využitím ISM pásem**

Mobile Devices Telemetry by Wireless Technology in ISM BAND

2010

Zdeněk Fajkus

Zadání bakalářské práce

Student:

Zdeněk Fajkus

Studijní program:

B2645 Elektrotechnika, sdělovací a výpočetní technika

Studijní obor:

2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma:

Telemetrie mobilních prostředků s využitím bezdrátového přenosu na
střední vzdálenosti s využitím ISM pásma
Mobile Devices Telemetry by Wireless Technology in ISM Band

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s bezdrátovými technologiemi v ISM pásmu.
2. Návrh telemetrického systému v ISM pásmu.
3. Realizace navrženého prototypu.
4. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Rajeev Shorey . Mobile, wireless, and sensor networks; IEEE Press, 2006
2. HALL, David L. - LLINAS, James. Handbook of multisensor data fusion, CRC Press LLC, 2001
3. FIEDLER, P. - BRADÁČ, Z. - HYNČICA, O. - KAŇA, Z. "Kam kráčí standard ZigBee"
4. Subramanian NAMBI, Sheshidher NYALAMADUGU, and Stuart M. WENTWORTH. "Radio Frequency Identification Sensors"

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 30.11.2008

Datum odevzdání: 07.05.2010

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal

.....
Zdeněk Fajkus

Datum odevzdání bakalářské práce: 07.05.2010

Děkuji panu Ing. Davidovi Valovi za odbornou pomoc a konzultace při zpracování bakalářské práce

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je demonstrování možností využití bezdrátových ISM pásem v měřicí a řídicí technice a dále je zpracovávat v dalších mobilních zařízeních, jako jsou PDA nebo Notebooky. V této práci se bude komunikovat v pásmu 2,4 GHz pomocí technologie Bluetooth a to mezi jednotkou, připojenou ke CAN sběrnici a PDA (MDA), kde se budou zobrazovat data, jak v grafické podobě, tak numerické a prostřednictvím těchto zařízení se dají ovládat i komponenty, připojené ke CAN sběrnici. Odposlechnutá data se budou ukládat na SD kartu do souboru, případně se budou zobrazovat přímo na obrazovce PDA (MDA). V budoucnu by se mohlo využít toto zařízení pro zobrazování dat v automobilu s CAN sběrnici a následného vyhodnocování v dalších zařízeních, nebo k jejich archivaci a po určité době se můžou porovnat s novějšími daty, čímž by se dalo zjistit míra opotřebení vozidla.

Klíčová slova

ISM, PDA, MDA, CAN, bluetooth, freescale

Abstract

The aim of this thesis is to demonstrate the possibilities of using wireless ISM band in measuring and control technology and process it in other mobile devices such as PDAs or laptops. In this paper we will communicate in the 2.4 GHz Bluetooth and the unit is connected to the CAN bus and the PDA (MDA), which will display data as graphs, and numerical and through these devices can be controlled and components connected to the CAN bus. Tapping data will be stored on an SD card into a file, or will appear on-screen PDA (MDA). In the future, could be used this device for displaying data in a car with a CAN bus and the subsequent evaluation of other devices, or for archiving and after some time, can compare with recent data, which could find a vehicle wear rate.

Keywords

ISM, PDA, MDA, CAN, bluetooth, freescale

Seznam použitých zkratek

ACK – Acknowledge	GND - Ground	PDA – Personal Digital Assistant
AD – Analog to Digital	HW – Hardware	PSK – Phase Shift Keying
AT – AT příkazy	IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers	RAM – Random Access Memory
BDM – Background Debug Mode	IIC – Inter IC BUS	RFID – Radio Frequency Identification
BR – Boot Record	ISM – Industrial Scientific Medical	RGPIO – Rapid General Purpose Input Output
BT – Bluetooth	ISO/OSI	RTR – Remote Transmission Request
CAN – Controller Area Network	ITU – International Telecommunication Union	RTS – Ready To Send
CLK - Clock	JMP – Jump Operation	RX - Receive
CMD – Command	KBI – Keyboard Interrupt	SCI – Serial Communication Interface
COM – Sériový port	LAN – Local Area Network	SD – Secure Digital
CRC – Cyclic Redundancy control	LCD – Liquid Crystal Display	SDBUS – Secure Digital Bus
CSMA/CA - Carrier-Sense, Multiple-Access, Collision Avoidance	LED – light Emmiting Diode	SMD – Surface Mounted Device
CTS – Clear To Send	LQFP – Low-profile Quad Flat Package	SPI – Serial Peripheral Interface
ČSV – Činitel Stojatých Vln	LSB – Least Significant Bit	SPP – Serial Port Profile
DB - DataBase	M2M – Machine To Machine	SPSCK – SPI Clock
DPS – Deska Plošných Spojů	MBR – Master Boot Record	SQL – Structured Query Language
DPSK – Differential Phase Shit Keying	MCU – Microcontroller Unit	SW - Software
DQPSK - Differential Quadrature Phase Shit Keying	MDA – Mobile Digital Assistant	SWR – Standing Wave Ratio
DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum	MISO – Master In Slave Out	TTL – Transistor-Transistor Logic
EDR – Enhanced Data Rate	MOSI – Master Out Slave In	TX – Transmission
EEPROM – Electrically Erasable Programable Read Only Memory	MSB – Most Significant Bit	UHF – Ultra High Frequency
FAT – File Allocation Table	MSCAN – Freescale's Controller Area Network	USART – Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
FEC – Forward Error Correction	MS-DOS – Microsoft Disk Operating System	USB – Universal Serial Bus
FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum	NAV – Network Allocation vector	UWB – Ultra Wide Band
FIFO – First In First Out	NOP – No Operation	VCC - Napájení
	OEM – Original Equipment Manufacturer	VF - Vysokofrekvenční
	PC – personal Computer	W2K – Windows 2000
		Wi-Fi – Wireless Fidelity

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Popis ISM pásem a dostupných technologií.....	2
2.1 Přehled ISM pásem	2
2.2 Dostupné zařízení a standardy pro přenos dat	3
2.2.1. RF přenos dat v pásmu 433 a 868 MHz.....	3
2.2.2. Technologie BlueTooth.....	3
2.2.3. Technologie ZigBee.....	4
2.2.4. Technologie Wi-fi.....	6
2.2.5. Technologie Wavenis.....	8
2.3 Nejčastější jevy degradující signál a jejich eliminace.....	9
3 Přehled antén dostupných pro pásmo 2,4GHz.....	10
3.1 Všesměrové antény.....	10
3.2 Směrové antény.....	13
3.3 Planární širokopásmové antény.....	15
4 Popis sběrnice CAN.....	16
4.1 Popis vrstev sběrnice.....	16
4.2 Přenos zprávy.....	18
4.2.1 Datový rámeček.....	18
4.2.2 Ovládací rámeček.....	19
4.2.3 Chybový rámeček.....	20
4.2.4 Přetěžovací rámeček.....	20
4.2.5 Mezirámcová mezera.....	21
5 Návrh řešení aplikace.....	22
5.1 Uvažované využití zařízení.....	23
5.2 Popis aplikace.....	24
5.3 Popis MCU MCF51AC256ACLKE.....	25
5.4 Popis Bluetooth modulu.....	26
5.5 Popis SD karty.....	27
5.6 Popis použitého souborového systému.....	28
6 Řešení aplikace.....	32
6.1 Schéma zapojení a návrh DPS aplikace.....	32
6.2 Nastavení komunikační sběrnice MCU – SPI.....	34
6.2.1 Popis zapojení a funkce SPI sběrnice.....	34
6.2.2 Změna Baudrate SPI komunikace.....	35
SPI1BR – SPI Baudrate registr (SPI Baud Rate register).....	35
6.3 Popis komunikace s Bluetooth modulem a PDA.....	36
6.4 Popis komunikace a inicializace SD karty.....	40
7 Závěr.....	45
Použitá literatura.....	46

1 Úvod

V dnešní době se stále více setkáváme se zařízeními, ve kterých hraje hlavní roli řízení mikroprocesorem, popřípadě více mikroprocesory a o stavu zařízení nás informují LCD displaye. Toto řešení je pro základní aplikace v životě nejjednodušší a pro danou funkci přístroje nejlepší, protože veškeré funkce dostupné v zařízení se jednoduše ovládají. Problém ovšem nastává, když bychom chtěli zobrazit něco, co LCD display neumožňuje. Proto by bylo vhodné připojit přístroj k jinému zobrazovači, který by dokázal plnohodnotně využít veškerý potenciál zařízení. Mohlo by se jednat o připojení pomocí kabelů, což by u aplikací umístěných uvnitř jiného zařízení bylo složité a mohlo by docházet k informačním přeslechům, nebo velkým nárokům na technologii zobrazovacích zařízení, např. Notebooky již nemívají v základu sériový port, USB port vyžaduje programování systémových ovladačů a LAN vyžaduje oddělovací transformátor, který ovšem není levnou součástí a z tohoto důvodu se nehodí do zařízení vyráběných v malých sériích. Optimální řešení lze nalézt v bezdrátové technologii, ovšem musíme brát zřetel na přenosovou rychlost a vzdálenost, na kterou budeme chtít komunikovat. Na výběr je v dnešní době mnoho rozhraní pro průmyslovou komunikaci v ISM pásmech. Záměrně zmiňuji pouze ISM pásma, jelikož se jedná o nelicencované kmitočty, tudíž pro provoz těchto modulů nepotřebujeme žádnou licenci a můžeme je provozovat ve všech regionech ITU. Avšak je zde i nevýhoda, a to že tyto pásma nejsou nijak chráněna před rušením, tudíž si nemůžeme stěžovat, že na určité frekvenci je zdroj rušení, který znemožňuje komunikaci. Jako zobrazovač by mohl být využití notebook nebo PDA či MDA zařízení s příslušnou aplikací na dekodování dat a jejich následné zobrazení.

Pro mou práci je nejlepší použití technologie Bluetooth, jelikož v dnešní době touto technologií disponuje většina zařízení dostupných na tuzemském trhu. Komunikace bude probíhat mezi jednotkou, která bude připojena na CAN sběrnici, kde bude naslouchat a dále zapisovat do paměti tvořené SD kartou. V libovolné chvíli bude možnost připojit zařízení s Bluetooth rozhraním disponujícím obslužným programem, který bude moci komunikovat s jednotkou a načítat data. Také bude možnost tyto data zobrazit a nebo data do jednotky posílat, čímž bude možnost ovládat určité zařízení připojené k CAN sběrnici.

První část práce se bude zabývat problematikou sběrnice CAN, kde budou popsány základní vlastnosti protokolu, zapojení sběrnice, stavy na sběrnici a jiné nutnosti pro úspěšnou komunikaci po této sběrnici. Dále si objasníme technologii Bluetooth, pracovní kmitočet, typ modulace a další vlastnosti této technologie v různých specifikacích. Následovat bude téma o SD paměťové kartě, jeho druhy zápisu, rychlosti a inicializační sekvenci, která je nejdůležitější pro správnou funkci zápisu a čtení na tuto paměť. A v neposlední řadě popis a řešení samotné bezdrátové komunikace mezi PDA (MDA) a komunikační jednotkou.

2 Popis ISM pásem a dostupných technologií

2.1 Přehled ISM pásem

ISM pásma byly původně rezervované pro bezdrátový přenos dat v průmyslu, vědě a zdravotnictví a pro jiný účel než hlasovou komunikaci. Tyto pásma jsou definována Mezinárodním telekomunikačním úřadem ITU pro celosvětové uvolnění pásem. Pro Českou Republiku, jakožto region 1, platí následující vymezení frekvenčního spektra.

Rozsah frekvence[MHz]	Maximální TX výkon	Kanálová rozteč	Klíčovací poměr
6,765 – 6,795	42 dBμA/m /10 m	Není definována	-
13,553 – 13,567	42 dBμA/m /10 m	Není definována	-
26,957 – 27,283	42 dBμA/m /10 m nebo 10mW e.r.p.	Není definována	-
40,660 – 40,7	10mW e.r.p.	Není definována	-
138,2 – 138,45	10mW e.r.p.	Není definována	<1,0%
433,050 – 434,79	10mW e.r.p.	Není definována	<10,0%
433,050 – 434,79	1 mW e.r.p. ¹⁾	Není definována	Až 100%
433,050 – 434,79	10mW e.r.p.	Max. 25 kHz	Až 100%
868,000 – 868,600	25mW e.r.p.	Není definována	<1,0%
868,700 – 869,200	25mW e.r.p.	Není definována	<0,1%
869,300 – 869,400	25mW e.r.p.	Max. 25kHz	-
869,400 – 869,650	500mW e.r.p.	Max. 25KHz ²⁾	<10,0%
869,700 – 870,000	5mW e.r.p.	Není definována	Až 100%
2 400 – 2 483,5	25mW e.i.r.p.	Není definována	-
5 725 – 5 875	25mW e.i.r.p.	Není definována	-
24 000 – 24 250	100mW e.i.r.p.	Není definována	-
61 000 – 61 500	100mW e.i.r.p.	Není definována	-

Tabulka 1: Přehled dostupných ISM pásem

[1]

- 1 Kanálová rozteč není stanovena, pro přenos signálů může být použito celé uvedené kmitočtové pásmo.
- 2 Celé kmitočtové pásmo může být také využíváno jako jeden kanál pro přenos dat s vysokou rychlostí.

Nejběžnější frekvenční pásma, které jsou u nás používány je v oblasti 13 MHz, 433 MHz, 868MHz a 2,4 GHz. Nejčastější systémy v pásmu 13 MHz jsou RFID čtečky a bezdrátová zabezpečovací technika zboží v obchodních domech. Dále je zde pásmo 433 a 868 MHz kde se nacházejí dálkové ovladače, modemy nebo např. Bezdrátové zvonky. V posledním pásmu 2,4 GHz je technologie Bluetooth nebo ZigBee a asi nejrozšířenější datové spojení Wi-Fi.

Při konstruování bezdrátových aplikací a možností vybrání různých kmitočtů provází důležitá rozvaha potřeby vysílání a dosahu. Obecně platí, že čím vyšší frekvence nosné vlny, tím méně se nosná vlna láme a ohýbá dle prostředí. Pro pásma nižších pásem je lepší prostupnost terénem, ale v zastavěné oblasti je spíše utlumený. Kdežto u vyšších frekvenčních pásem UHF se vlny šíří přímo, ale nelze je ohnout. V tomto případě se vlny šíří po přímce, ale disponují výhodou odrazu od vodivých částí v prostředí a tím postupně dojdou ke svému cíli.

2.2 Dostupné zařízení a standardy pro přenos dat

2.2.1. RF přenos dat v pásmu 433 a 868 MHz

V tomto pásmu se používají základní komunikační moduly pro bezdrátový přenos dat při použití amplitudové modulace. Jedná se v podstatě pouze o zařízení, které při připojení log. 1 na datový vstup, začne vysílání nosné vlny. Toto můžeme použít buď pro bezdrátový spínač (např. ovladač pro bezdrátový zvonek, nebo pro vysílání dat, ale pouze pro sběrnici USART, jelikož při vysílání není možné v jednom modulu použít 2 signály, které jsou nutné pro ostatní sběrnice. U sběrnice USART je výhoda v nastavení Baudrate, čímž odpadá synchronizační kanál a tím pádem další vysílač. Ovšem jsou zde i továrně vyráběné transciivery s Full Duplex provozem, nebo Semi Duplexním provozem. Jediným nedostatkem těchto modemů je jejich pořizovací cena a velká pravděpodobnost rušení v tomto pásmu.

2.2.2. Technologie Bluetooth

Frekvenční rozsah a použitá modulace

Technologie Bluetooth využívá ISM pásmo o frekvenci 2 400 MHz až 2 483,5 MHz a vzdálenost, na kterou lze komunikovat se pohybuje od 10m po 100m, dle specifikace operační třídy. Na výběr jsou 2 režimy modulace. Povinný režim, tzv. základní stupeň využívá binární FM modulace pro snížení složitosti transciivru. Druhý režim je tzv. EDR známý jako Enhanced Data Rate (Zvýšený datový tok) a je při tom používána modulace PSK, která má dvě varianty. $\pi/4$ -DQPSK a 8DPSK. Přenosové rychlosti se liší dle typu zvoleného režimu a modulace. U základního režimu je přenosová rychlost 1Mb/s, u režimu EDR s typem modulace $\pi/4$ -DQPSK je rychlost 2Mb/s a s modulací 8DPSK je maximální rychlost 3Mb/s.

Pro Bluetooth pásmo je vymezeno 79 kanálů o šířce 1MHz s počátkem na frekvenci 2402 MHz.

Charakteristika vysílače, řízení vysílacího výkonu

Výkonová třída	Maximální výstupní výkon (P_{max})	Typický výstupní výkon	Minimální výstupní výkon	Řízení výkonu
1	100mW (20dBm)	-	1mW (0dBm) ³⁾	P _{min} ⁴⁾ < +4dBm - P _{max}
2	2,5mW (4dBm)	1mW (0dBm)	0,25mW (-6dBm)	Typ. P _{min} - P _{max}
3	1 mW (0dBm)	-	-	≤ P _{max}

Tabulka 2: Přehled výkonových tříd Bluetooth

Výkonová třída 1 má implementované řízení výkonu. Používá se pro řízení výkonů nad 4 dBm. U vysílacího výkonu pod 4 dBm je tato funkce volitelná a může být použita pro optimalizaci spotřeby a rušení.

Charakteristika přijímače

Citlivost – Citlivost přijímače je definována jako úroveň, při které je chybovost samostatných bitů maximálně 0,1%. Samotná citlivost musí být nižší nebo rovna -70dBm s kterýmkoli Bluetooth vysílačem.

Interferenční výkon – Interferenční výkon na společném kanále a v přilehlých 1 MHz a 2 MHz nesmí překročit hranici 10 dB nad referenční úroveň citlivosti, kdežto na ostatních kanálech musí být maximální úroveň o 3 dB větší než je citlivost.

[11]

2.2.3. Technologie ZigBee

Popis, pásma, přenosová rychlost

Komunikační technologie ZigBee je v podstatě novým prvkem v oblasti komunikací. Za zrozením nového standardu byl požadavek o vyplnění mezery, mezi standardem WiFi a Bluetooth. Zakládá se na standardu IEEE 802.15.4.

3 Minimální výkon při nastavení maximálního výkonu

4 Nejnižší výkonový limit -30dBm je doporučený, ale není povinný a může být zvolený dle potřeb aplikace

ISM pásmo [MHz]	Počet kanálů	Přenosová rychlost	Definovaná oblast použití
2400	16	250kb/s	Celosvětové použití
915	10	40kb/s	Amerika a Austrálie
868	1	20kb/s	Evropa

Tabulka 3: Pásmo ZigBee a přenosové rychlosti

Technologie je založena na implementaci přístupové metody CSMA/CA k fyzickému médiu, což znamená, že vlastní radiová část standardu IEEE 802.15.4 této metody využívá na úrovni fyzické a linkové vrstvy komunikačního modelu. Vlastní standard IEEE 802.15.4 definuje komplexní komunikační protokol, který je založen na přenosu datových rámců. Jsou definovány čtyři typy komunikačních rámců využívané buď pro přenos užitečných datových informací, nebo k režijním účelům souvisejícím se sestavením, správou a řízením sítě:

- Data Frame – rámec s délkou užitečných dat 104 bytu slouží pro přenos užitečné informace pro všechny datové přenosy v kontextu standardu
- Acknowledgement Frame - rámec sloužící pro přenos potvrzovací informace; je využitelný pouze na úrovni MAC pro potvrzovanou komunikaci a je vysílán v takzvaném „mrtvém čase“ ihned po přenosu paketu
- MAC Command Frame – rámec slouží k centralizovanému konfigurování, nastavení a řízení klientských zařízení v síti ZigBee
- Beacon Frame – rámec slouží k synchronizaci zařízení v síti a je využíván hlavně při konfiguraci sítě v módu Beacon Enable, v němž umožňuje uvádění klientských zařízení do spánkových režimů s extrémně sníženou spotřebou

Aplikace ZigBee technologie

ZigBee standard byl převážně navrhnout pro aplikace s minimálními požadavky na objem přenášených dat a se samotnou spotřebou zařízení. Spotřeba ZigBee modulu je v průměru 65μA a je to dáno hodnotami 1μA v tzv. Sleep módu a 65 μA v režimu vysílání/příjmu je odběr 15mA. Při průměrném příkonu 0,1 mW a napájením alkalickou baterií AA je udávaná doba provozu okolo jednoho roku. Všechny tyto hodnoty jsou naměřeny spolu s prvky s nízkou spotřebou. Tyto hodnoty jsou statistické údaje v režimu, kdy je modul připojen do sítě.

Hlavní zaměření aplikace těchto modulů bylo a je použití v oblasti automatizace, řízení budov (standard je navržen s ohledem na spolehlivost a bezpečnost přenosu dat) a v menší míře pro kancelářské použití.

[8]

2.2.4. Technologie Wi-fi

Wi-Fi (Wireless Fidelity) je bezdrátová síť, primárně určená k náhradě kabelového ethernetu v bezlicenčním ISM pásmu, které je dostupné takřka na celém světě. V dnešní době s sebou nese velkou nevýhodu, a tou je její rozšířenost v komerčním a uživatelském prostředí a neodborná instalace venkovních zařízení, což může způsobovat kolizi kanálů a nemožnost vysílat prakticky dosahovanou rychlostí. Pro fyzický přenos dat byly využity 2 základní způsoby:

- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) – metoda přímo rozprostřeného spektra
- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) – metoda rozprostřeného spektra s přeskokováním kmitočtů

Metoda DSSS

Fyzická vrstva pracující na DSSS používá k “rozprostření” dat před přenosem 11bitovou Barkerovu sekvenci (u rychlostí 11 Mbit a 5,5 Mbit 8-bitovou). Každý přenášený bit je zpracován touto sekvencí, každému informačnímu bitu je přiřazena určitá bitová sekvence. Do přenášených dat se tím zavádí mnohonásobná redundance, která na přijímací straně zlepšuje proces rekonstrukce dat.

Celý proces rozprostírá vysokofrekvenční energii na širší frekvenční pásmo než by odpovídalo přímé modulaci uživatelským datovým tokem. Spektrální výkonová hustota (úroveň signálu vysílaná na určitém kmitočtu) je přitom velice nízká, protože celkový vysílací výkon je rozložen do širokého kmitočtového pásma. Procesní zisk tohoto systému je definován jako desítkový logaritmus poměru rozprostření (chip rate) a dat. Přijímač obnovuje data zpětným pochodem. Hlavní výhodou technologie rozprostřeného spektra je především eliminace interferencí (rušení) úzkopásmových zdrojů při klasickém přenosu.

Vzhledem k typické šířce DSSS kanálu mohou v přiděleném bezlicenčním pásmu 2400 - 2483 MHz pracovat vedle sebe nezávisle 3 kanály DSSS. Jejich středové kmitočty musí být voleny tak, aby se vzájemně nedotýkaly ani okraji zabraných pásem. Uvažujeme-li označení kmitočtů dle ETSI (1. kanál 2412 MHz, 2. kanál 2417 MHz, dále s odstupem 5 MHz), vidíme, že 2 zařízení DSSS nelze provozovat na sousedních kmitočtových kanálech ETSI, ale je nutné zachovat rozestup min. 5 kanálů ($5 \times 5 \text{ MHz} = 25 \text{ MHz}$).

Metoda FHSS

Fyzická vrstva, založená na FHSS, má k dispozici 22 modelů (skokové sekvence). Na této fyzické vrstvě je definováno 79 kanálů v okolí frekvence 2,4 GHz. Každý z těchto kanálů zabírá šířku pásma 1 MHz a “přeskakuje” minimálně 2,5krát za vteřinu (ve Spojených státech), ale typicky je to až 20krát.

Oba popisované systémy mají definovanou vlastní inicializační sekvenci bitů (hlavičku – header), aby přijímač byl schopen rozpoznat použitý modulační formát a očekávanou délku datového řetězce. Tyto hlavičky jsou vždy přenášeny na rychlosti 1,6 Mb/s a obsahují pole, na základě kterého následná rychlost přenosu dat může být zvýšena na 3,2 Mb/s. Tuto technologii typicky používá Izraelský Breezcom (zařízení breeznet).

Spojová vrstva

Specifikace této vrstvy ve standardu 802.11 má určité společné prvky se standardem 802.3 pro klasický Ethernet. K přístupu na médium používá protokol CSMA/CA (Carrier-sense, multiple-access, collision avoidance). Tento protokol používá techniku předcházení kolizí (collision avoidance) oproti technice detekce kolize, kterou používá standard 802.3, a to z důvodu obtížnosti detekce kolizí v sítích používajících bezdrátové médium při vysokofrekvenčním přenosu.

CSMA/CA

Omezením bezdrátových LAN je problém tzv. “skrytého uzlu”, který může omezit komunikaci na síti až o 40 a více procent. Jedná se o uzel, který není schopen detekovat používání přenosového média a může se tak pokoušet k němu přistupovat právě v okamžicích, kdy je již síť používána.

Protokol CSMA/CA zajišťuje minimum kolizí použitím čtyř rámců:

- RTS (Ready To Send) – Připraven k odeslání zprávy
- CTS (Clear To Send) – Připraven k přijetí zprávy
- ACK (Acknowledge) – Potvrzení úspěšného přijetí dat
- NAV (Network Allocation vector) – Označuje síť jako používanou

Průběh komunikace použitím protokolu CSMA/CA

Jeden z uzlů bezdrátové sítě vyšle požadavek na komunikaci zasláním rámce RTS s udáním adresy příjemce a délky zprávy. Na základě RTS se v každém uzlu vypočte NAV a ostatní uzly jsou tak upozorněny, že je síť na nejbližší dobu používána.

Adresát zprávy na RTS odpoví rámcem CTS. Neobdrží-li vysílací uzel rámeček CTS, považuje to za kolizi a celý proces požadavku o vysílání začíná znova. V případě, že vysílací uzel obdrží CTS rámeček, zahájí samotný přenos dat. Při úspěšném přijetí dat adresát odešle rámeček ACK, čímž se ukončí mechanismus přenosu dat.

[12][13]

2.2.5. Technologie Wavenis

Technologie Wavenis byla vytvořena ke komunikaci M2M (Machine To Machine) a dnes se používá miliony modulů po celém světě. Nejčastější uplatnění nachází v oboru automatizace s hlavním zaměřením na bezdrátová čidla a senzory. Wavenis pracuje v ISM pásmech 433MHz, 868MHz a 915MHz. Ve všech těchto pásmech disponuje regulovatelným výkonem i variabilitou přenosových rychlostí. V *Tabulka 10* je výčet vlastností, kterými disponují Wavenis moduly RX/TX Wavecard (VF část a MCU) a Wavefront (poze VF část) firmy Macroweil, která je i distributorem těchto modulů pro ČR.

Vlastnosti	VF parametry	Datové rozhraní
Topologie: bod-bod, bod- více bodů, hvězda, strom, oko sítě	Vlastní ASIC transceiver	8-pinový SMD konektor
Transceiver, repeater	ISM pásma: 433 / 868 / 915 MHz	RS232 (TTL i RS232 logika)
Rozměry: 30 x 28 x 7mm	Modulace: GFSK/FHSS	
Napájecí napětí: 3,3 – 5,5 V	Přenosová rychlost: 4,8 – 100kb/s	
Spotřeba: 10μA při 2,7V s intervalem 1s	TX výkon: 25 – 500 mW	
Životnost 10 let s jednou sadou AA alkalických baterií	VF citlivost: -110dBm při 9,6kb/s	

Tabulka 4: Přehled hlavních funkcí technologie Wavenis

Výhody použití modulů Wavenis

- Komunikace přes sériový port
- Plug and Play v síti Wavenis
- Konfigurační EEPROM
- Kompatibilita s PC (W2K a novější, Active X, Win CE, Windows Mobile)
- Automatická konfigurace a routing
- Zákaznická parametrizace sítě
- Kompletní API a DLL knihovny
- Programovatelný pracovní cyklus

[18]

2.3 Nejčastější jevy degradující signál a jejich eliminace

Jevy degradující signál

- **Útlum způsobený vzdáleností od vysílače** – má logaritmický průběh (za předpokladu šíření vln ve volném prostoru bez překážek)
- **Stíny za překážkami** – pro signál se objekt stává překážkou ve chvíli, kdy jeho rozměry odpovídají vlnové délce signálu
- **Rayleighovy úniky** – jsou způsobené odrazy od překážek v malé vzdálenosti (okolní budovy, zdi atp.) od přijímací antény, čímž dojde k fázovému posuvu signálu
- **Disperze signálu** – je způsobená odrazem signálu od velkých překážek ve velkých vzdálenostech (hory) od přijímací antény (zpoždění o délku bitu). Přijímaná kopie signálu způsobuje komplikace příjmu originálního signálu.
- **Dopplerův jev** – zvyšování či snižování kmitočtu signálu vzájemným pohybem vysílače a přijímače (např. Vysokorychlostní vlaky s rychlostí 300km/h a více)

Eliminace poruch při přenosu dat

- **Samoopravné kódy** – použitím FEC (Forward Error Correction) – řeší stíny za překážkami. Přidávají k užitečnému signálu další bity (redundantní informace), které jsou poté na přijímači dekodovány a umožňují detekovat, popřípadě opravit vzniklé chyby
- **Prokládání** – řeší krátkodobý Rayleighův únik – „rozbíjí“ shluky chyb na jednotlivé bity, které se pak opravují pomocí FEC kódu
- **Adaptivní ekvalizace** – zabraňuje disperzi signálu – na základě známé sekvence bitů se v přijímači průběžně přenastavuje adaptivní ekvalizér (filtr), který působí proti zkreslení signálu na kanálu
- **Diverzifikace antén** – velká hloubka Rayleighových úniků se dá zmenšit přibližně o 3dB vysláním z dvojice antén v určité vzdálenosti – tzv. Prostorová diverzifikace. Také se používá dvojitá anténa vysílající s oběma polarizacemi – tzv. Polarizační diverzifikace. Tato metoda se používá převážně ve městech
- **Frekvenční skákání** (Frequency hopping) – eliminuje Rayleighovy úniky přepínáním kmitočtu kanálů. Rayleighovy úniky se nacházejí v místech vzdálených o $\lambda/2$, čímž je dosaženo jejich minimalizace, jelikož na každém kanále se mění hodnota $\lambda/2$ a tím i pravděpodobnost, že dojde k Rayleighovu úniku.

[7]

3 Přehled antén dostupných pro pásmo 2,4GHz

3.1 Všesměrové antény

Všesměrové antény jsou vhodné pro aplikace, které využívají služby PAN. Z pravidla se jedná o jeden přípojný bod a více připojovaných zařízení. Výhoda je ve vyřazovacím diagramu antény, kdy je téměř stejný pro celý okruh, i když jsou i u tohoto druhu antény patrné prvky směrových antén. Ovšem jejich nevýhodou je větší konstrukční rozměry při malém zesílení.

Pro konstrukci antén se používají velikosti, vypočítané z velikosti vlnové délky λ . Používají se násobky 0,25; 0,5; 0,625 a 0,875 λ .

Anténu si můžeme vyrobit i sami. Budem potřebovat pouze SWR (ČSV) metr pro dané pásmo pro zjištění činitele SWR (ČSV). V ideálních podmínkách by anténa měla vykazovat činitel SWR (ČSV) hodnotu 1. V reálné konstrukci se ovšem tento činitel nachází u nejlepších antén v intervalu 1,1 až 1,5. Horší antény mají 1,5 až 2 a antény špatně sladěné mívají 2 a vyšší.

Typická konstrukce všesměrové antény

Nejběžnější konstrukce všesměrové antény pro ISM pásmo 2,4GHz (a nejen pro toto pásmo) je tzv. Vertikální kolineární anténa. V domácích podmínkách je také celkem dobře zhotovitelná. Anténa se skládá z kousků koaxiálního kabelu o délce 0,25 λ a 0,5 λ vynásobených činitelem zkrácení odpovídající danému typu kabelu, resp. Použitým dielektrikem koaxiálního kabelu.

Schéma stavby vertikální kolineární antény je na Obr. 1 popisující jakým způsobem se zapojují jednotlivé části koaxiálního kabelu. Zářič antény tvoří několik prvků o délce 0,25 λ a 0,5 λ , které jsou vodivě spojeny a jejich počet⁵ určuje zisk antény (přibližně 6dB při čtyřech $\lambda/4$ dílech). Na konektor antény jsou připojeny radiály o délce $\lambda/4$ pod sklonem 45°, které jsou vodivě spojeny s posledním dílem koaxiálního kabelu.

V rovnici Rovnice 3 a Rovnice 4 je vzorec pro výpočet délky jednotlivých prvků antény. Délku L prvky vypočteme z λ (střední frekvence pásma), kterou vynásobíme koeficientem l, jenž nabývá hodnot dle požadovaného typu prvku, viz Tabulka 6 a následně musíme zjistit koeficient zkrácení pro daný typ kabelu daný výrobcem.

Příklad výpočtu prvků antény

Pro tento příklad budeme uvažovat o použití koaxiálního kabelu RLF 12, jehož parametry jsou v Tabulka 5 a od nichž se odvíjí další výpočet. Na konstrukci antén, ale i samotný svod antény musí být použit koaxiální kabel s impedancí 50 Ω a pokud to bude možné, také s co nejmenším útlumem. Lze použít i kabel s impedancí 75 Ω , ale je zde nutností použít přizpůsobovací členy pro impedanční přizpůsobení, ovšem to velice ztíží konstrukci antény. [14]

⁵ Měníme množství $\lambda/2$ dílů, počet $\lambda/4$ úseků zůstává zachován

Vnitřní vodič, průměr:	CCA ⁶ , 4,4mm
Průměr dielektrika	12,4 mm
Dielektrikum	Pěnové - PE
Průměr stínění	13,4 mm
Stínění	Al fólie, opletení Al > 85%
Průměr vnější izolace	15,6 mm
Vnější izolace	PE, UV odolná
Stejnosemenný odpor (vnitřní vodič/stínění)	1,8 Ω*km ⁻¹ /3,9 Ω*km ⁻¹
Impedance	50Ω
Kapacitance	86 pF*m ⁻¹
Činitel zkrácení	0,79
Koeficient zkrácení	>90dB

Tabulka 5: Parametry koaxiálního kabelu RLF 12

[19]

Velikost dílu	Hodnota parametru l
$\lambda/4$	0,25
$\lambda/2$	0,5
$5\lambda/8$	0,625
$7\lambda/8$	0,875

Tabulka 6: Přehled hodnot parametru l

$$f = \sqrt{f_{MIN} * f_{MAX}} = \sqrt{2402 * 2480} = 2440,69 \text{ MHz}$$

Rovnice 1: Výpočet střední frekvence pásma

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^5}{2440,69 * 10^3} = 12,24 \text{ cm}$$

Rovnice 2: Výpočet λ daného pásma

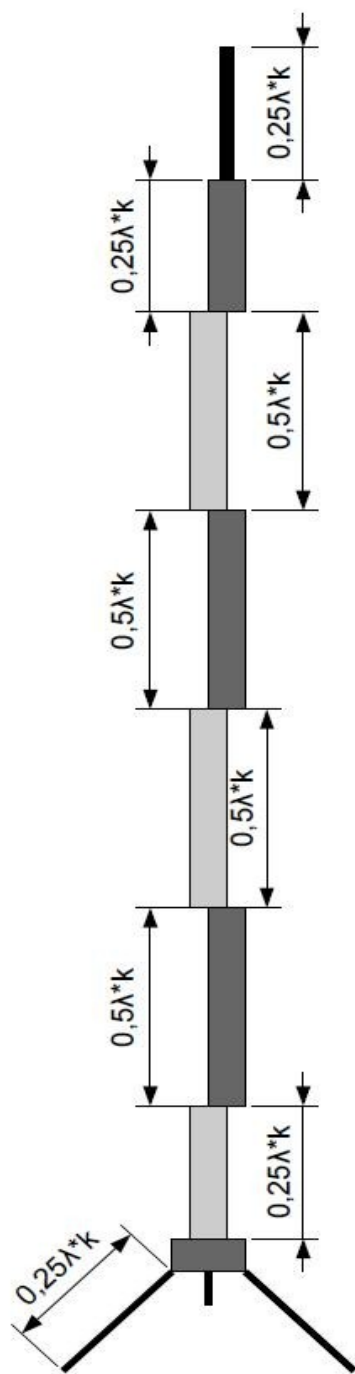
$$L = \lambda * l * k = 12,24 * 0,25 * 0,79 = 2,42 \text{ cm}$$

Rovnice 3: Výpočet délky $\lambda/4$ dílu

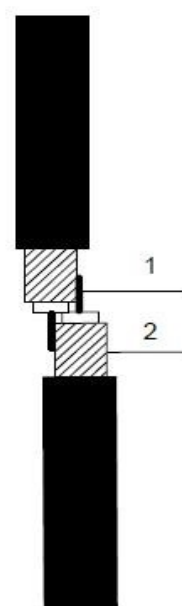
$$L = \lambda * l * k = 12,24 * 0,5 * 0,79 = 4,83 \text{ cm}$$

Rovnice 4: Výpočet délky $\lambda/2$ dílu

6 Materiál CCA je poměděný hliník



Detail spojení dvou koaxiálních kabelů



Detail zakončovacího prvku



- 1 – Vnitřní vodič koaxiálního kabelu
- 2 – Stínění koaxiálního kabelu

Obr. 1: Konstrukce vertikální kolineární antény

[14]

3.2 Směrové antény

Směrové antény mají využití v oblasti, kde se využívá pro přenos dat pouze určitá oblast, např. Uvnitř budov, velké místnosti nebo i otevřená prostranství s požadavkem na směr vysílání. Směrové antény, jak už vyplývá z názvu, mají nejvyšší vysílací výkon pouze v určitém směru. Vyzařovací úhly antén se pohybují od několika jednotek stupňů až po desítky, někdy i stovky stupňů. Tento typ antén má díky směrovosti také větší odolnost vůči rušení a pokud je i tak oblast hodně zarušená okolními stanicemi, lze ještě změnit polarizaci antény, čímž se potlačí okolní rušení až o 20dB. Ovšem za předpokladu, že okolní stanice vysílají stejnou polarizací a opačnou vůči naší anténě.

Další obrovskou výhodou je velikost antény při dobrém zisku. Obecně jsou tyto antény menší než všesměrové antény.

Druhy směrových antén s možností vertikální nebo horizontální polarizace:

- Anténa typu YAGI
- Parabolické antény

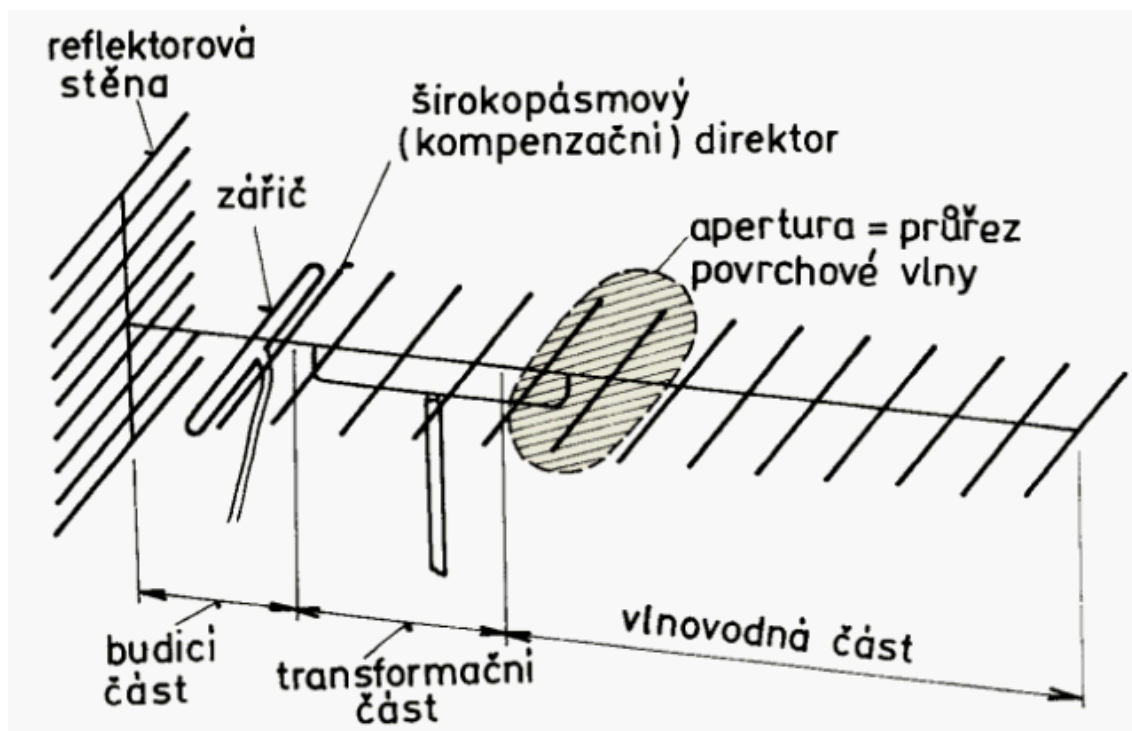
Anténa typu YAGI

Tyto směrové antény patří k nejzákladnějším typům směrových antén. Nejčastěji se skládají z hliníkového ráhna a několika zářičů kolmých na ráhno. Podrobné schéma antény je na Obr. 2 kde jsou zakresleny nejdůležitější prvky antény

Základní myšlenkou při konstrukci YAGIho antény je ovlivnění vyzařování dipólu pomocnými prvky. V nejjednodušší verzi se setkáme s dvěma prvky - reflektorem a direktorem. Jejich vzájemným působením se deformuje vyzařovací charakteristika dipólu tak, že zadní vyzařovací lalok je potlačen a naopak přední posílen. Tím se dipól stane směrovým, zisk antény v jednom směru je zesílen, v druhém potlačen. Bohužel ve vyzařovací charakteristice se objeví kromě hlavních vyzařovacích laloků ještě postraní, díky kterým je nárůst zisku v předním směru menší než teoreticky možný. Přidáním dalších direktorů a reflektorů můžeme tyto postranní laloky zmenšit, ale nikdy je zcela neodstraníme.

Zisk a směrovost antény je závislá na její elektrické délce. Protože zisk vzrůstá přibližně s logaritmem délky, nevyplatí se z ekonomického hlediska projektovat antény s délkou větší než 6λ . Většího zisku a směrovosti je možné dosáhnout řazením antén. Roztečemi mezi jednotlivými anténami ve skupině (jak ve vodorovném, tak ve svislém směru) lze tvarovat vyzařovací diagram anténní soustavy. Existují konstrukce s prostorovým uspořádáním direktorů, kdy jsou prvky umístěné na jednom ráhnu nad sebou, a vytváří tak jednoduché anténní soustavy.

Moderní dlouhá YAGIho anténa má dvě hlavní části. Budící soustavu a vlnovodnou soustavu, mezi kterými je transformační část. Budící část určuje impedanční vlastnosti antény a šířku



Obr. 2: Schéma směrové antény typu YAGI

pásma. Obvykle ji tvoří skládaný dipól s kompenzačním direktorem. Úkolem vlnovodné části je soustředit elektromagnetické záření do povrchové vlny. Tato vlna se šíří v prostoru okolo vlnových prvků. Plocha zabraná povrchovou vlnou se nazývá apertura, a v tomto prostoru by se neměly vyskytovat žádné vodivé předměty (nosný stožár, napáječ...).

Vlnovodná část určuje směrové charakteristiky antény a tím i zisk. Transformační část převádí povrchovou vlnu na zářič. Vlnovodná část je homogenní a skládá se z prvků stejné délky, obvykle ve stejných rozestupech. Transformační část má prvky různé délky a obvykle je mezi nimi nestejné vzdálenost (směrem k zářiči se prvky zahušťují). Anténu vhodně doplňuje reflektor - odrazná plocha, která vylepšuje předozadní směrovou charakteristiku.

[15]

Parabolická anténa

Pro soustředění elektromagnetického záření zejména na vyšších kmitočtech můžeme použít reflektorů vytvarovaných buď do válcového nebo rotačního paraboloidu. Takový reflektor soustřeďuje záření buď do přímkového ohniska (v případě válcového paraboloidu) nebo ohniska bodového (rotační paraboloid). V ohnisku reflektoru je pak umístěn vlastní zářič buď dipól nebo jiný anténní systém (logaritmicko periodický, ústí vlnovodu...), který zachycenou energii

přenesení k přijímači.

Základní druhy parabol:

- Rotační paraboloid
- Ofsetový rotační paraboloid
- Válcový paraboloidní reflektor
- Anténa s rotačním paraboloidním reflektorem

[16]

3.3 Planární širokopásmové antény

Planární antény mají velké výhody (malé rozměry, nízký profil a snadná integrovatelnost do planárních mikrovlnných obvodů, nízká výrobní cena při sériové výrobě). Ale při použití v UWB aplikacích je třeba vyřešit jejich nedostatky, mezi které patří hlavně úzká impedanční šířka pásma, nízká polarizační čistota, nízká vyzařovací účinnost.

Hlavním znakem širokopásmových antén jsou minimální změny elektrických parametrů v relativně širokém kmitočtovém pásmu. Při návrhu se klade důraz na stálost vstupní impedance ($SWR < 2$).

Vlastnosti antény závisí na poměru rozměrů antény k délce vlny. Teoreticky, pokud by byla délka antény nekonečná, byla by i šířka pásma antény nekonečná. Vzhledem k tomu, že taková realizace antény není možná, je nutné najít jiné řešení.

Návrh a vývoj planárních antén je velice sofistikovaný a náročný na výrobní technologii. Je velice důležité dodržet přesně dané rozměry pro vypočtenou anténu. Na vývoj a demonstraci antén existují programy, určené přímo tomuto účelu. V Příloze 1 jsou vyobrazeny základní tvary planárních antén

[17]

4 Popis sběrnice CAN

Sběrnice CAN využívá sériový komunikační protokol efektivně podporující distribuované řízení real-time systémy s vysokou úrovní hustoty dat. Standard byl vyvinut německou společností BOSCH, která jej oficiálně uvedla v roce 1986 pro automobilový průmysl. Ovšem v pozdějších letech začala pronikat i do jiných odvětví průmyslu, než byl její záměr. Komunikace po sběrnici CAN podporuje širokou škálu aplikací s nízkými náklady na datové vedení, jelikož přenosová rychlost sběrnice je až 1 Mbit/s a vzdálenost může být až 1000m.

4.1 Popis vrstev sběrnice

Pro minimalizaci nároků při návrhu komunikační sběrnice CAN bylo navrženo rozdělení do 3 vrstev:

- Objektová vrstva
- Transportní vrstva
- Fyzická vrstva

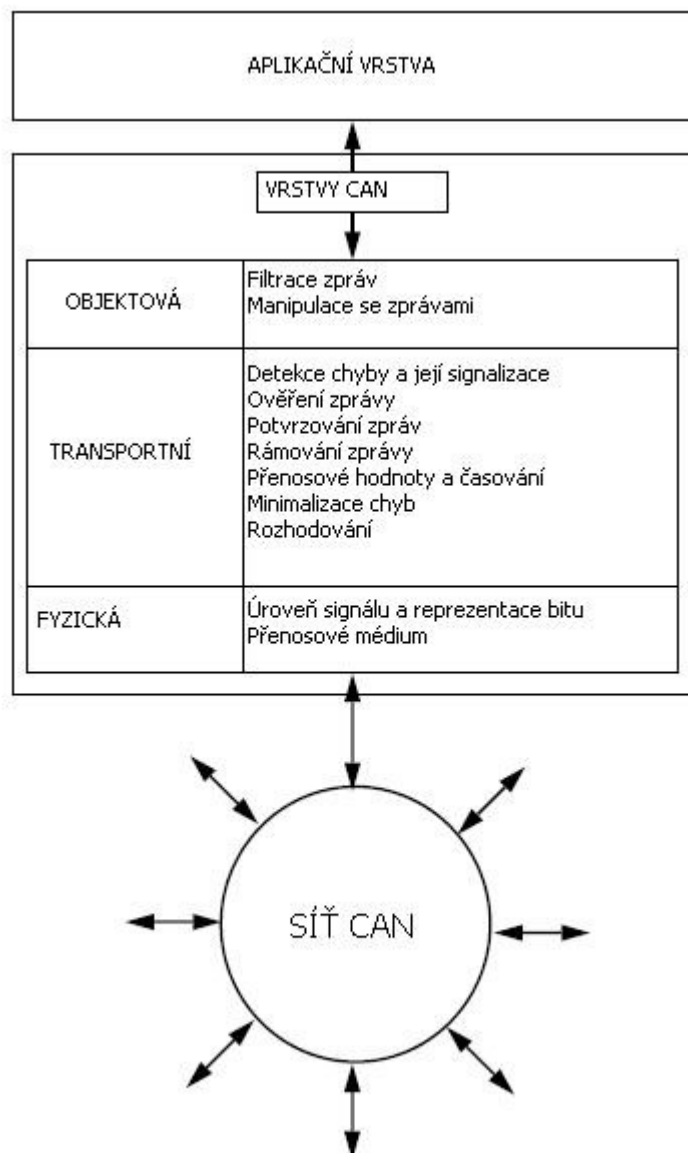
Objektová vrstva a Transportní vrstva zahrnuje všechny služby a funkce Spojové vrstvy definované ISO/OSI modelem.

Rozsah Objektové vrstvy:

- Určuje, která zpráva má být odeslána
- Rozhoduje, která zpráva přijímána Transportní vrstvou bude použita
- Poskytuje rozhraní pro aplikační vrstvu

Transportní vrstva se týká především přenosového protokolu, tj. kontrola rámců, kontroluje chyby, signalizuje chyby a omezuje chyby. Také rozhoduje kdy je sběrnice volná k přenosu dat nebo přenos dat teprve začíná a jednou z hlavních funkcí je časování sběrnice. Modifikace této vrstvy není umožněna uživateli a je vytvořena již při výrobě.

Fyzická vrstva zahrnuje aktuální přenos bitů mezi různými uzly s respektováním všech elektrických vlastností. Avšak v rámci sítě musí být Fyzická vrstva stejná pro všechny uzly.



Obr. 3: Vrstvy sběrnice CAN

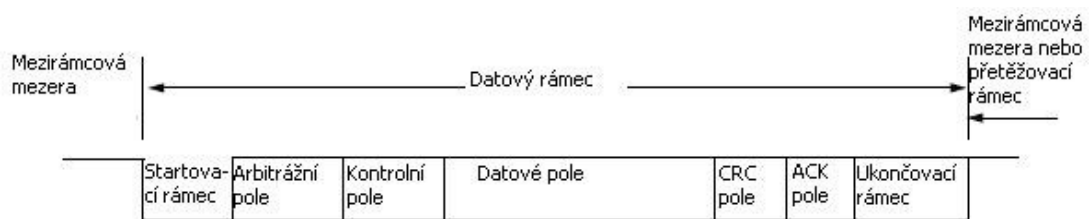
4.2 Přenos zprávy

Přenos zpráv se uskutečňuje a řídí čtyřmi rozdílnými typy rámců:

- Datový rámeček: Přenáší data z vysílače do přijímače
- Ovládací rámeček: Rámeček požadavku dat, vysílaný uzlem na sběrnici pro zařízení se stejným identifikátorem. Odpověď je reprezentována datovým rámcem zprávy
- Rámeček chyby: Vysílá jej kterýkoliv uzel na síti při detekci chyby
- Přetěžovací rámeček: provádí zvláštní zpoždění mezi předešlým a následujícím datovým nebo ovládacím rámcem

4.2.1 Datový rámeček

Datový rámeček je složen ze sedmi rozdílných bitových polí: Startovací rámeček, Arbitrážní pole, Kontrolní pole, Datové pole, pole CRC kódu, ACK pole a Ukončovací rámeček.



Obr. 4: CAN – datový rámeček

- Startovací rámeček značí zahájení datového rámečku a ovládacího rámečku. Skládá se z jednoho dominantního bitu. Uzlu je pouze povoleno začít vysílat, když je sběrnice ve stavu Idle. Všechny uzly se musí synchronizovat s nástupnou hranou způsobenou Startovacím rámcem uzlu, který zahajuje vysílání na sběrnici.
- Arbitrážní pole se skládá z Identifikátoru a RTR bitu. Identifikátor je dlouhý 11 bitů z čehož 7 nejvyšších bitů nesmí mít zároveň recesivní stav. V datovém rámcu, RTR bit musí být dominantní, kdežto u ovládacího rámečku musí být recesivní charakter.
- Kontrolní pole – je složeno z 6-ti bitů, 2 bity jsou rezervovány pro budoucí použití a musí být odeslány jako dominantní bity. Další 4 bity udávají délku Datového pole v bytech, čímž se omezuje velikost dat na 8 byte. Kombinace bitů, určujících velikost datového pole odpovídá binární kombinaci čísel 0 – 8.
- CRC pole – 16 bitů dlouhé pole skládající se z 15-ti bitového CRC kontrolního součtu a CRC delimiteru, který je vždy recesivní bit.

- ACK pole – dvoubitové pole obsahující ACK slot a ACK delimiter. Vysílající uzel odesílá oba bity ACK pole jako recesivní a odpověď od přijímaného uzlu vysílá bity v ACK poli jako dominantní.
 - ACK slot – Ověřuje platnost CRC kódu. Jestliže přijímací uzel obdrží správný CRC kód, přepíše bit ACK slot z recesivního stavu na dominantní stav.
 - ACK delimiter – tento bit musí být recesivní a důsledkem toho je, že ACK slot je obklopen dvěma recesivními bity (CRC delimiter a ACK delimiter)
- Ukončovací rámeček – Každý ovládací rámeček a datový rámeček je ukončen tzv. Ukončovacím rámečkem, složeným z sedmi recesivních bitů

4.2.2 Ovládací rámeček

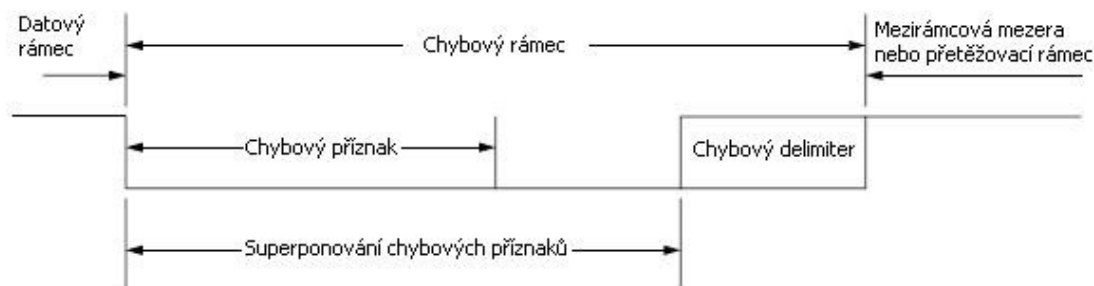


Obr. 5: CAN – Ovládací rámeček

S výjimkou datového pole je tento rámeček stejný, jako Datový rámeček. Uzel označený jako přijímač odesílá tento rámeček požadovanému uzlu jako požadavek o data. Ovládací rámeček je rozlišován RTR bitem v Arbitrážním poli, jehož stav je vždy recesivní. V Datovém rámečku je tento bit dominantní.

4.2.3 Chybový rámeček

Chybový rámeček se skládá ze dvou odlišných polí. První pole je dáno superpozicí chybových příznaků odeslaných z rozdílných uzlů na sběrnici. Rozlišují se dva typy příznaků. Pasivní a Aktivní.



Obr. 6: CAN – Chybový rámec

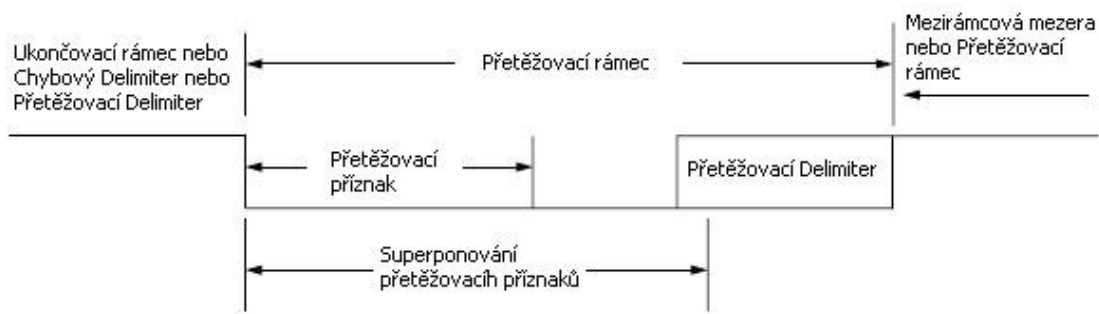
- Pasivní chybový příznak se skládá z 6-ti za sebou jdoucích recesivních bitů, které mohou být přepsány dominantními bity z jiného uzlu.
- Aktivní chybový příznak je složen z 6-ti za sebou jdoucích dominantních bitů.

Druhé pole je delimiter chyby složený z osmi recesivních bitů.

4.2.4 Přetěžovací rámec

Přetěžovací rámec se skládá ze dvou bitových polí. Přetěžovací příznak a Přetěžovací Delimiter. Rozenzáváme dva druhy přetěžovacích podmínek a obě vedou k odeslání přetěžovacího příznaku.

1. Když vnitřní podmínky přijímacího uzlu vyžadují prodlevu mezi následujícím Datovým rámcem nebo Ovládacím rámcem.
2. Při zjištění dominantního bitu během očekávané přestávky.



Obr. 7: CAN – Přetěžovací rámec

4.2.5 Mezirámcová mezera

Datové rámce a Ovládací rámce jsou odděleny od ostatních rámců polem, zvaným Mezirámcový prostor. Na rozdíl u Chybových rámců a Přetěžovacích rámců nepředchází Mezirámcový prostor a při zaslání více Přetěžovacích rámců není mezi jednotlivými rámci Mezirámcový prostor.

Mezirámcová mezera obsahuje pole nazvané Pauza a pole Bus Idle.

Pole Pauza je složeno ze tří recesivních bitů. Během Pauzy není dovoleno žádnému uzlu vysílat Datový rámeček nebo Ovládací rámeček. Jediná povolená akce je odeslání libovolné přetěžovací podmínky.

Pole Bus Idle označuje sběrnici jako volnou a umožňuje libovolnému uzlu na sběrnici zahájit přenos dat. Detekce dominantního stavu na sběrnici je označováno jako Startovací rámeček.

[3]

5 Návrh řešení aplikace

Kritéria pro výběr MCU

- Rozhraní CAN – minimálně na úrovni Spojové vrstvy
- 32-bit jádro
- dostatečná vnitřní paměť pro data
- dostatek komunikačních sériových rozhraní
- Dostupnost vývojového SW a programovacích zařízení (programátorů)
- vhodné pouzdro pro SMD montáž bez nutnosti vlastnit speciální přípravky (pájecí pec, osazovací stroje atd.)

Kritéria výběru ISM pásma

- Spotřeba elektrické energie
- Vliv rušení okolním prostředím a atmosferickými vlivy
- Dostupnost bezdrátového rozhraní na mobilních zařízeních
- Dosah modulu

Kritéria výběru paměťového média

- Finanční nenáročnost
- Velká datová kapacita
- Dostupnost

Na základě výš zmíněných kritérií byly vybrány následující komponenty:

- MCU: Freescale MCF51AC256ACLKE
- ISM pásmo: 2,4GHz – technologie Bluetooth
- Paměťové médium: SD karta

Volba bezdrátového modulu

Volba bezdrátového modulu byla mezi bezdrátovými moduly Wi-fi a Bluetooth. V Tabulka 7 je porovnání obou bezdrátových modulů.

	Wi-Fi modul	Bluetooth modul
Spotřeba el. Energie	Větší	Malá
Odolnost proti rušení	Malá	Velká
Dostupnost v zařízeních	K dispozici většinou	K dispozici vždy
Dosah modulu	Velký	Střední

Tabulka 7: Porovnání bezdrátových modulů

Jak vyplývá z výše uvedené tabulky, je pro tuto aplikaci vhodnější použít bezdrátový Bluetooth modul. Sice nemá takový dosah jako Wi-fi modul, ale to se dá zvýšit použitím silnější antény k modulu. Velkou výhodou Bluetooth modulu je jeho spotřeba, která je menší než spotřeba Wi-

Fi a to je důležité jak pro provoz PDA(MDA) tak samotné komunikační jednotky.

Po zhodnocení těchto údajů bylo rozhodnuto k použití Bluetooth modulu.

5.1 Uvažované využití zařízení

V dnešní době, dalo by se říci automatizované době jsme obklopeni různými zařízeními, které nám více či méně usnadňují život. I toto zařízení má tento cíl. V aplikaci, která disponuje CAN sběrnici, bude možno řídit periferie připojené k této sběrnici, nebo zobrazovat data, o která si prostřednictvím této jednotky požádáme. Zobrazování dat, či ovládání periferií bude umožněno za předpokladu, že periferie připojené k CAN sběrnici, budou umožňovat změnu stavu či datovou komunikaci po sběrnici a svou změnou stavu neovlivní bezpečný chod stroje.

Komunikační jednotka umožňuje komunikaci s BT zařízeními, na kterých je nainstalována příslušná aplikace pro komunikaci. Prioritně bude vytvořena pro mobilní zařízení se systémem Windows Mobile 6.x zpětně kompatibilní se systémem WM6 disponující BT rozhraním, což je u těchto zařízení již předpokládáno.

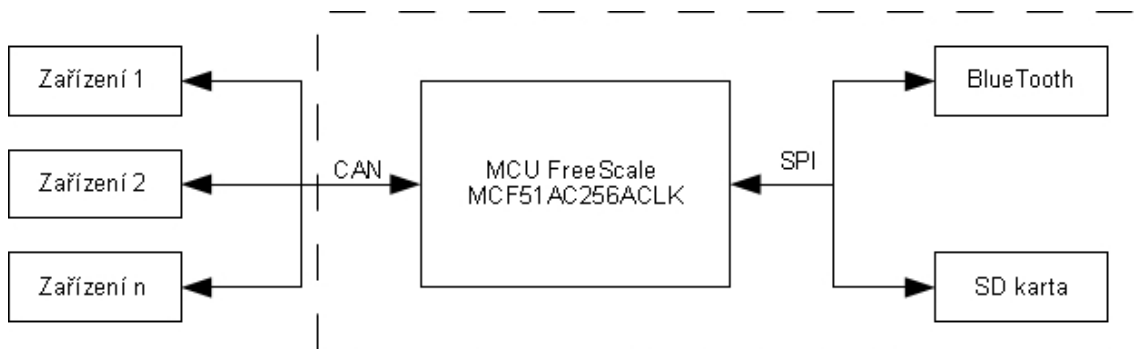
Funkční režimy jednotky jsou dva základní. První režim slouží pro zaznamenání dat na SD kartu a posléze budou dostupná ke stažení přes Bluetooth. Druhý režim bude on-line sledování dat v elektromobilu a možnost řízení základních zařízení, která nejsou závislá na funkci chodu elektromobilu.

5.2 Popis aplikace

Aplikace bude řízená mikroprocesorem MCF51AC256ACLKE. Jedná se o procesor výrobce FreeScale a má 32-bit jádro. Disponuje CAN řadičem na úrovni linkové vrstvy ISO/OSI modelu se specifikací A/B. Jednotka bude připojena na sběrnici CAN, kde bude primárně odposlouchávat data, která jsou přenášena mezi dalšími zařízeními na sběrnici. Tyto data bude dále analyzovat a ukládat na paměť ve formě SD karty o kapacitě 1GB. Po celou dobu komunikace bude aktivní komunikační modul BlueTooth pro komunikaci se zobrazovací jednotkou, která se bude moci v kterémkoliv okamžiku připojit k tomuto zařízení. Bude mít možnost číst data v reálném čase, číst data z paměťové SD karty nebo posílat data na sběrnici CAN a tím řídit určité aplikační moduly umístěné na sběrnici. Rychlost Bluetooth modulu bude implicitně nastavena na 19 200 Bd/s. Konfigurace BT modulu bude probíhat prostřednictvím počítače s aplikací Hyperterminal a data budou směrována na sériový port.

Mikroprocesor je připojen k CAN sběrnici v Elektromobilu a bude naslouchat na sběrnici. Pokud nebude k Bluetooth připojené žádné zařízení pro zobrazení dat, budou se automaticky zaznamenávat veškerá data na SD kartu. V případě, že se během zápisu dat připojí k Bluetooth

modulu zobrazovací zařízení, Zápis dat na SD kartu bude pokračovat i nadále, ale zároveň se budou data posílat i na Bluetooth modul, který je bude odesílat na připojené zařízení.



Obr. 8: Blokové schéma funkce jednotky

Význam prvků blokového schématu

- Zařízení 1 – n: Jednotlivé periferie automobilu připojené a ovládané skrze CAN sběrnici (např. Ovládání světel, kontrolní a řídicí periferie)
- MCU Freescale MCF51AC256ACLKE: hlavní část aplikace, 32-bit MCU realizující naslouchání na sběrnici CAN a zápis veškerých dat na SD kartu a posílání dat na BT modul.
- SD karta: Hlavní paměťové médium, zapisují se na ni veškerá data zaznamenaná prostřednictvím MCU
- Bluetooth modul: obstarává komunikaci s externím zařízením a MCU

5.3 Popis MCU MCF51AC256ACLKE

Použití MCU má pouzdro LQFP80, napájecí napětí je v rozsahu 2,7 – 5,5V a funkční rozsah frekvence MCU je od 32 768kHz po 50,33MHz, přičemž periférie MCU mohou pracovat na poloviční frekvenci.

- Jádro: 32-bit Coldfire V1
- Paměť: FLASH – 256kB, RAM – 32 kB
- Komunikační sběrnice: 2xSPI (1x možnost 16-ti bitového režimu), 2xSCI, 1xIIC, 1x MSCAN, 1xBDM (pouze pro nahrání firmware a debug
- HW přerušení (1x)
- HW přerušení klávesnice (KBI) – 8x
- RGPIO – 16 bit paralelní sběrnice
- Integrovaný 16-ti bitový CRC HW akcelerátor
- 23 12-ti bitových AD převodníků

Blokový diagram zapojení pinů a funkčních jednotek je v Příloha 2 a fyzické zapojení pinů na pouzdře LQFP80 je v Příloha 3.

[6]

5.4 Popis Bluetooth modulu

V této aplikaci je použit Bluetooth modul firmy Rayson s označením BTM-112 se specifikací class 2.

Modul nemá integrovanou anténu, tudíž je nutností použít externí anténu. Typy antén jsou v kapitole 3 Přehled antén dostupných pro pásmo 2,4GHz. Pro naši aplikaci bude nejvhodnější zvolit všesměrovou anténu s dobrým ziskem.



Obr. 9: BTM-112

Elektrická specifikace modulu

Parametry	Popis	Min.	Typ.	Max.	Jednotka
Nosná frekvence		2,402		2,48	GHz
Napájecí napětí		3	3,3	3,6	V
TX výkon	Při impedanci 50R	-6	0	4	dBm
Vstupní citlivost			-83	-70	dBm
Vstupní úroveň log. 0	RESET, UART, GPIO, PCM	-0,3	-	0,8	V
Vstupní úroveň log. 1	RESET, UART, GPIO, PCM	0,7VDD	-	VDD+0,3	V
Výstupní úroveň log. 0	UART, GPIO, PCM	-	-	0,4	V
Výstupní úroveň log. 1	UART, GPIO, PCM	VDD-0,4	-	-	V
Průměrná spotřeba	SCO připojení HV1		46	-	mA
Špičková spotřeba	TX výkon +4dBm		-	80	mA

Tabulka 8 Přehled elektrických charakteristik

Bluetooth modul se ovládá pomocí tzv. AT příkazů. Základní AT příkazy jsou vypsány v Tabulka 17 a podmínkou pro jejich využití je nemít k Bluetooth modulu připojené žádné zařízení. V opačném případě bude Bluetooth modul tyto příkazy ignorovat a po SPP je bude zasílat na připojené zařízení formou znaků.

[5]

5.5 Popis SD karty

Aplikace je navržena pro použití SD karty do maximální velikosti 2GB dat. Souborový formát je FAT16 a standardní napájení 3,3V přičemž maximální napěťový rozsah napájení je 2,7V až 3,6V s amplitudou zvlnění maximálně 60mV.

Při komunikaci s SD kartou lze volit mezi dvěma typy sběrnic – SDBUS a standardní SPI. Sběrnice typu SDBUS využívá pět komunikačních kanálů, čtyři z nich jsou určeny pro data a jeden je vyhrazen pro příkaz CMD a následnou odpověď RESPOND. Další pin je tzv. CLK, na který je přiveden hodinový signál z procesoru a určuje rychlost komunikace.

Při komunikaci s SD kartou po sběrnici SPI jsou využity pouze dva datové vodiče(MOSI, MISO), jeden pro hodinový signál(CLK) a jeden pro selekci aktivního zařízení na sběrnici (\overline{SS}).

Elektrické zapojení pro použití sběrnice SDBUS je na Obr. 10 a při použití sběrnice SPI je v Tabulka 9 uvedeno zapojení pinů SD karty.

Pro mou aplikaci jsem si vybral zapojení se sběrnici SPI, jelikož jím disponuje použité MCU a komunikační rychlost je dostatečná. Další informace o problematice komunikace po sběrnici SPI s SD kartou je v kapitole 6.4 Popis komunikace a inicializace SD karty.

Pin	Název SD BUS	Název SPI BUS	Typ	Popis funkce pinu
1	CMD	\overline{CS}	I	Výběr chipu pro komunikaci
2	CMD	MOSI	I	Data do SD karty
3	GND	GND	S	Napájení - GND
4	Vcc	Vcc	S	Napájení – typ. 3,3V
5	CLK	CLK	I	Hodinový signál
6	GND	GND	S	Napájení - 0V
7	DAT0	MISO	O	Data z SD karty
8	DAT1	Rezervované	-	Rezervované
9	DAT2	Rezervované	-	Rezervované

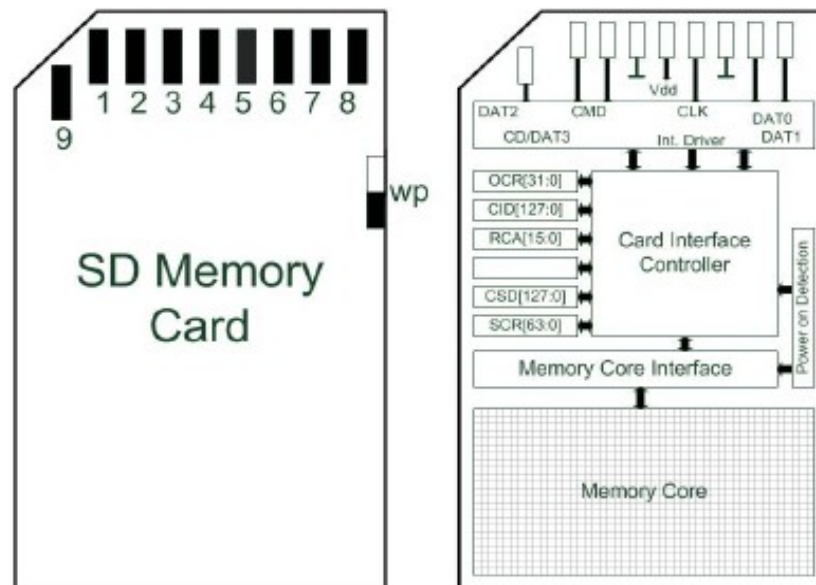
Tabulka 9: Popis pinů SD karty v režimu SPI komunikace

[2]

[8]

5.6 Popis použitého souborového systému

Jednotka s aktuálním firmwarem dokáže komunikovat pouze se souborovým systémem FAT16.



Obr. 10: Schéma SD karty v režimu SD BUS

Ovšem změna na jiný souborový systém je pouze softwarová záležitost a lze ji přeprogramovat. FAT16 souborový systém se skládá z MBR a BR jednotlivých oddílů.

Struktura souborového systému FAT16

MBR se nachází na LBA adrese 0. Velikost MBR je 512B a obsahuje spouštěcí program (v našem případě program chybí) a dále jsou čtyři, tzv. Partition Entry, ve kterých se nacházejí informace o začátcích jednotlivých partition.

Master Boot Record

Offset	Popis	Velikost
000h	Programová část	446B
1BEh	Vstup 1. oddílu	16B
1CEh	Vstup 2. oddílu	16B
1DEh	Vstup 3. oddílu	16B
1EEh	Vstup 4. oddílu	16B
1FEh	Ukončovací znak (55h AAh)	2B

Tabulka 10: MBR FAT16

MBR je stejný pro skoro všechny operační systémy. Nachází se na prvním sektoru na paměťovém médiu, na cylindru 0, hlava 0 a sektor 1. Programová část obsahuje první kus kódu, který počítač provede poté, co zkontroluje všechny HW. Také obsahuje tabulku oddílů, která definuje rozdílné sekce média. V Tabulka 10 je vyobrazena struktura MBR.

Vstup 1. oddílu

Offset	Popis	Velikost
00h	Stav oddílu (80h – aktivní, jiná hodnota – neaktivní)	1B
01h	Začátek oddílu - Hlava	1B
02h	Začátek oddílu - Cylindr/Sektor	2B
04h	Typ oddílu (hodnoty v Tabulka 12)	1B
05h	Konec oddílu - Hlava	1B
06h	Konec oddílu - Cylindr/Sektor	2B
08h	Počet sektorů mezi MBR a 1. sektorem v oddílu	4B
0Ch	Počet sektorů v oddílu	4B

Tabulka 11: Struktura vstupu 1. oddílu v MBR

Hodnota	Popis
00h	Neznámá nebo neexistující oddíl
01h	FAT12
04h	FAT16 – oddíl je menší než 32 MB
05h	Rozšířený oddíl systému MS-DOS
06h	FAT16 – oddíl je větší než 32MB
0Bh	FAT32 – oddíl s velikostí do 2048 MB

Tabulka 12: Přehled hodnot v typu oddílu ve vstupu 1. oddílu

Význam hodnot Clusterů

Rozsah FAT kódu	Význam
0000h	Volný Cluster
0002h - FFEFh	Využívaný Cluster, další Cluster v souboru
FFF0h - FFF6h	Rezervovaný Cluster
FFF7h	Vadný Cluster
FFF8h - FFFFh	Využívaný Cluster, poslední Cluster souboru

Tabulka 13: Význam hodnot Clusterů

Cluster je skupina sektorů na paměťovém médiu nesoucí informace. Cluster velikosti 16kB má 32 sektorů. Jakmile hledáme vstupy ve FAT, clustery poskytují informace a využití těchto sektorů.

Fat16 Boot Record

BR se nachází v prvním sektoru každého oddílu. LBA každého oddílu je uložena v MBR a nachází se na pozici s offsetem 08h.

Offset	Popis	Velikost
00h	JMP kód + NOP	3B
03h	OEM název	8B
0Bh	Bytů na sektor	2B
0Dh	Sektorů na cluster	1B
0Eh	Počet rezervovaných sektorů	2B
10h	Počet kopií FAT tabulky	1B
11h	Maximum vstupů kořenových adresářů	2B
13h	Počet oddílů v oddílu menším než 32MB	2B
15h	Druh paměťového média	1B
16h	Počet sektorů na FAT tabulku	2B
18h	Počet sektorů na jednu stopu	2B
1Ah	Počet Hlav	2B
1Ch	Počet skrytých sektorů v oddílu	4B
20h	Počet sektorů v oddílu	4B
24h	Počet oddílů logické jednotky	2B
26h	Rozšířená signatura	1B
27h	Sériové číslo oddílu	4B
2Bh	Popisek názvu oddílu	11B
36h	Název FAT (FAT16)	8B
3Eh	Programová část	448B
1FEh	Ukončovací znak (55h AAh)	2B

Tabulka 14: FAT16 BOOT RECORD

[20]

6 Řešení aplikace

Tato kapitola představuje demonstraci řešení spolu se schématem zapojení a také kompletní nastavení všech registrů nutných pro řádnou komunikaci MCU a ostatních periférií

připojených na jednotlivé sběrnice.

MCU vytváří fyzické rozhraní mezi SD kartou, Bluetooth modulem a CAN sběrnici. Bluetooth modul je připojen na sběrnici UART i SPI procesoru. Je připojen na dva typy sběrnice pro rozdělení posílání AT příkazů a dat posílaných z MCU do mobilního zařízení. Data přicházející po sběrnici CAN jsou odposlechnuta (v případě, že nepatří přímo mé jednotce) a uložena v zásobníku. Při dostupnosti PDA bezdrátově připojeného k jednotce a připraveného přijímat data, začne okamžitě veškerou probíhající komunikaci na sběrnici CAN odesílat do PDA. Pokud PDA zařízení není dostupné, přijatá data se ukládají na SD kartu a ve chvíli, kdy se připojí PDA k jednotce, nastanou opět dvě možnosti odesílání dat. První je odesílat uložená data na SD kartě prioritně, nebo odesílat aktuální přijatá data.

PDA zařízení musí být pro korektní komunikaci nejprve spárované s Bluetooth modulem. Spárování je nutné provést přes nastavení Bluetooth v PDA, jelikož vlastní aplikace nedisponuje touto funkcí. Samotná aplikace v PDA bude třídit přijatá data a zapisovat do SQL databáze a bude i možnost si zapsaná data v databázi prohlížet přímo v aplikaci.

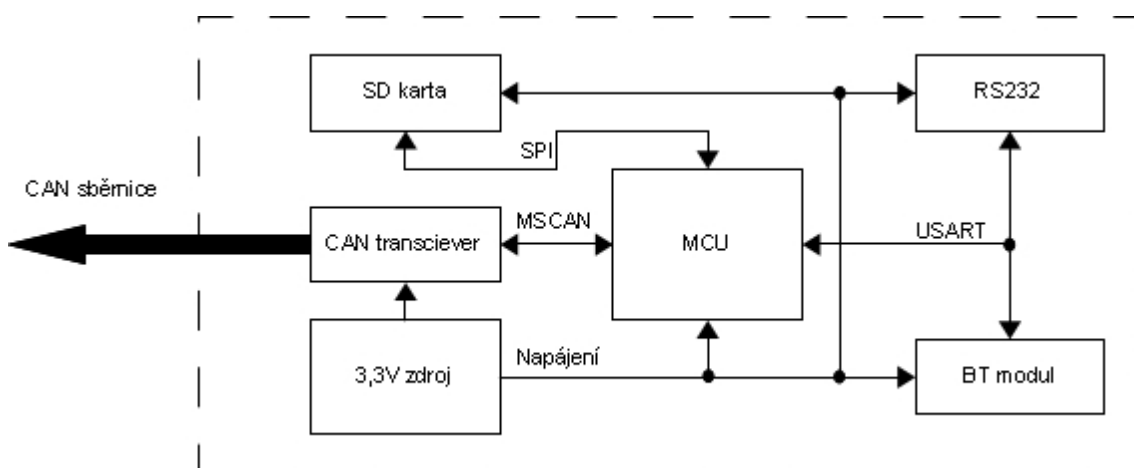
6.1 Schéma zapojení a návrh DPS aplikace

Blokové schéma zapojení

Na Obr. 11 je uvedené pouze blokové schéma zapojení, protože je schéma zapojení prostorově náročné, je zobrazeno v Příloha 5. Zapojení je navrženo dle doporučení výrobce jednotlivých komponentů: Freescale[6], Rayson[5], SanDisc[2], Maxim[7].

Deska plošných spojů a seznam součástek

Návrh DPS spolu s osazovacím plánem je zobrazen v Příloha 5. Na Obr. 12 je vyobrazena kompletní DPS i s osazenými součástkami.

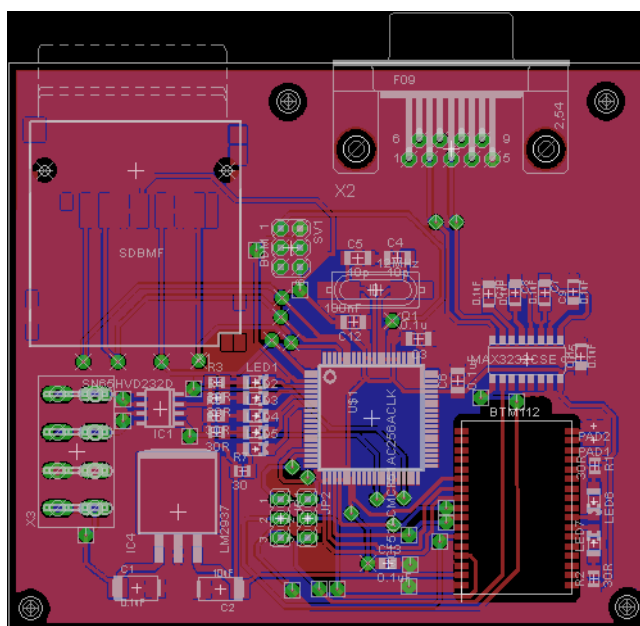


Obr. 11: Blokové schéma zapojení

6.2 Nastavení komunikační sběrnice MCU – SPI

Vlastnosti SPI modulu v MCU:

- Operační režim modulu – Master/Slave



Obr. 12: Kompletní návrh DPS

- Full-Duplexní komunikace po obou vodičích nebo Semi-Duplexní komunikace pouze po jednom datovém vodiči
- Programovatelný bitrate (rychlost komunikace)
- Buffer pro vysílané data a buffer pro přijímané data

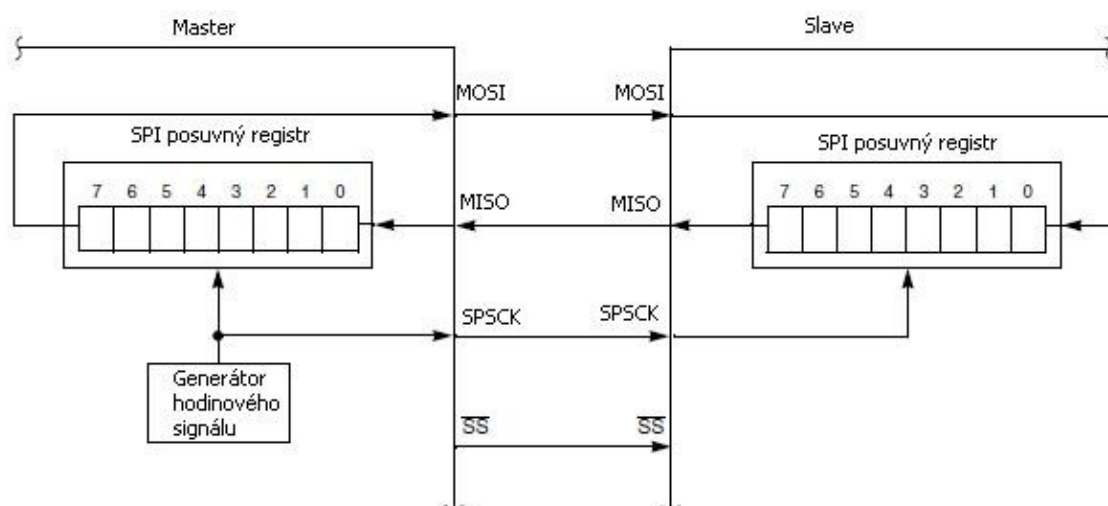
- Nastavení fáze a polarity hodinového signálu

6.2.1 Popis zapojení a funkce SPI sběrnice

Na obrázku Obr. 13 je znázorněno zapojení SPI modulů v Full-Duplex komunikaci mezi Master a Slave objektem. Řídící člen Master, připojený ke sběrnici, řídí a inicializuje veškeré datové přenosy na sběrnici. Během přenosu, master přesouvá data na výstup (MOSI pin) do slave jednotky, která zároveň posílá data do master jednotky (MISO pin). Přenos efektivně vyměňuje data, která byla v posuvných registrech dvou SPI jednotek. V obou systémech SPI komunikace se nachází signál SPSCCK, který je v režimu master nastaven jako výstupní signál, kdežto u režimu Slave je vstupním řídicí signál.

Pokud na SPI sběrnici neprobíhá přenos dat, je hodnota na datových vodičích rovna log. 1. V případě, že se zahájí přenos dat, jako první přenášený bit je log. 0 a poté následuje 8 datových bitů.

[6]

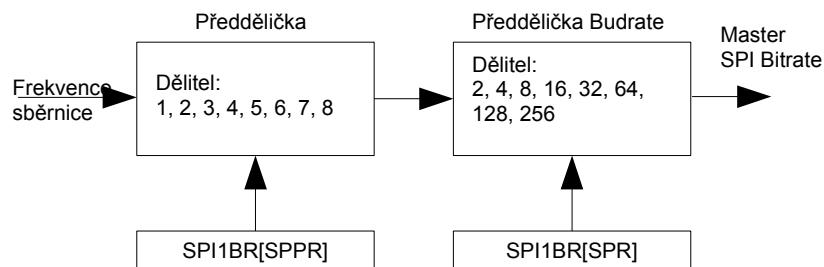


Obr. 13: Systémové zapojení SPI sběrnice

Poznámka: zde je uvedena pouze změna Baudrate SPI komunikace, jelikož všechny ostatní parametry jsou nastaveny pomocí programu Processor Expert.

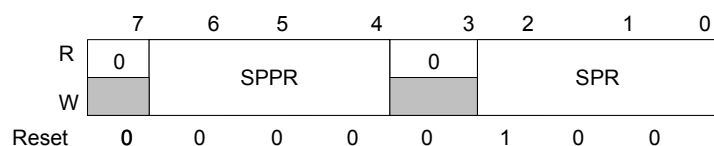
6.2.2 Změna Baudrate SPI komunikace

Zdrojem hodinového signálu pro generátor Baudrate SPI sběrnice je kmitočet vnitřní sběrnice MCU a jeho předdělička. Nejprve se musí zvolit hodnota předděličky frekvence vnitřní sběrnice MCU a poté se zvolí další hodnota předděličky, tentokrát pro baudrate. Výsledná hodnota již přímo udává rychlost komunikace.



Obr. 14: SPI Baudrate generátor

SPI1BR – SPI Baudrate registr (SPI Baud Rate register)



Obr. 15: SPI1BR

SPPR		SPR	
Binární hodnota	Hodnota dělitele	Binární hodnota	Hodnota dělitele
000	1	000	2
001	2	001	4
010	3	010	8
011	4	011	16
100	5	100	32
101	6	101	64
110	7	110	128
111	8	111	256

Tabulka 15 Přehled hodnot pro nastavení Baudrate SPI sběrnice

6.3 Popis komunikace s Bluetooth modulem a PDA

Komunikace s Bluetooth modulem probíhá po UART sběrnici a využívá se AT příkazů. Seznam použitých AT příkazů při komunikaci je v Tabulka 17. Bluetooth modul nepotřebuje žádnou inicializaci a jeho funkci můžeme otestovat přímo s implicitním nastavením částečně uvedeným v Tabulka 16. Celý seznam dostupných AT příkazů je obsažen v datasheetu k BT modulu [5]. Jestliže je k modulu připojeno a spárováno PDA, veškerá data odeslaná do Bluetooth modulu

z MCU budou odeslána do tohoto zařízení (za předpokladu, že nastavení COM portu je identické s nastavením Bluetooth modulu).

Parametr	Hodnota
Počet stop bitů	1 stop bit
Rychlost komunikace	19200 bit/s
Typ parity	žádná
Přístupový kód	1234
Zabezpečení připojení	Připojení jakýchkoliv master zařízení v režimu slave a vyhledání jakéhokoliv slave v režimu master
Viditelnost modulu	Zařízení je viditelné a je možno se k němu připojit
Nastavení role	Bluetooth modul je nastaven jako Slave

Tabulka 16: Tovární nastavení Bluetooth modulu

Pro komunikaci s Bluetooth modulem využijeme sériový port a aplikaci Hyperterminál v PC.

Indikace stavu Bluetooth modulu zajišťuje modrá LED, která signalizuje stav připojeného zařízení. Jestli modrá LED bliká, znamená to, že k Bluetooth modulu není připojeno žádné zařízení. Jestliže LED zhasne, znamená to, že se připojilo spárované zařízení a je možno odesílat a přijímat data.

AT příkaz	Význam	
ATK*	Nastavení Stop Bitu sériové komunikace	
	Modifikátor *	Význam
	0	1 stop bit
	1	2 stop bity
	?	Zjištění aktuálního nastavení
ATL*	Změna rychlosti komunikace	
	Modifikátor *	Význam
	0	4800 bit/s
	1	9600 bit/s
	2	19200 bit/s
	3	38400 bit/s
	4	57600 bit/s
	5	115200 bit/s
	6	230,4 kbit/s
	7	460,8 kbit/sy
	?	Zjištění aktuálního nastavení
ATM*	Specifikace nastavení paritního bitu komunikace	
	Modifikátor *	Význam
	M0	Žádný paritní bit
	M1	Lichá parita
	M2	Sudá parita
	M?	Zjištění aktuálního nastavení

Tabulka 17: Seznam AT příkazů použitých při nastavení komunikace

Komunikace mezi MCU a PDA

Komunikace mezi MCU a PDA probíhá skrze Bluetooth modul na základě jednoduchého protokolu založeného na odeslání příkazu a jeho potvrzení. Tento protokol jsem navrhl s ohledem na zkušenosti při komunikaci s SD kartou a tento způsob mi také přišel nejjednodušší. V tomto případě je PDA zvoleno jako master jednotka na sběrnici, tudíž řídí komunikaci mezi PDA a MCU. Každý příkaz vyslaný z PDA má délku 6 bytů a formát zprávy je uveden v Tabulka 18. Na základě tohoto příkazu se vykonávají předem určené instrukce v procesoru, nejčastěji se jedná o zápis či čtení dat z SD karty a nebo synchronní odesílání dat přímo ze sběrnice CAN.

1. byte	2. byte	3. - 6. byte
Startovací byte	Příkaz pro MCU	Argument příkazu

Tabulka 18: Formát příkazu z PDA pro MCU

Startovací rámec obsahuje znak C a označuje, že přichází správa je příkaz o délce 6 bytů. Pakliže první znak je D, označuje, že následující datový blok bude mít délku 512 bytů a bude obsahovat data k dalšímu zpracování. Odpověď od PDA je pro všechny příkazy stejná, a to buď znak O, čímž dává MCU signál že příkaz přijal a začne na něj patřičně odpovídat, nebo znakem E, který značí chybu a PDA musí na něj reagovat opětovným odesláním příkazu nebo přerušením probíhající komunikace. Pro demonstraci funkční komunikace s MCU bylo vytvořeno několik příkazů, popsanych v tabulce Tabulka 19

Číslo příkazu	Argument	Popis
1	Bez argumentu	Vyšlo do PDA jméno autora aplikace a jeho verzi
2	Bez argumentu	Čtení MBR SD karty
3	[31:0]Fyzická adresa	Čtení bloku dat z SD karty na požadované adrese
4	[31:0]Fyzická adresa	Zápis bloku dat na SD kartu na požadovanou adresu

Tabulka 19: Demonstrační příkazy komunikace mezi PDA a MCU

Softwarové řešení

Celá aplikace je vytvořena v vývojovém prostředí Microsoft Visual Studio 2008, Compact .Net Framework 3.5. Pro jednodušší práci s Bluetooth modulem v PDA byl vytvořen COM port, na který je směřována veškerá komunikace, čímž odpadá práce s registry. COM port má základní nastavení, které se dá v průběhu aplikace změnit na námi požadované hodnoty. Byl zde také přidán časovač pro cyklické načítání dat ze sériového portu. Časový interval byl zvolen na 100ms, což při velikosti bufferu 4kB odpovídá maximální rychlosti 40kB/s a pro tuto práci je tato rychlost plně dostačující. Minimální velikost dat, která se načítají do PDA je 512B, v případě odeslání příkazu je tato velikost variabilní. Posílání dat z PDA nepotřebuje mít konstantní velikost, avšak je limitována velikostí FIFO zásobníku v MCU a ta je 512B. Čili přenášený blok dat nesmí přesáhnout tuto hranici.

Aplikace dále přijatá data třídí dle daného algoritmu na skupiny příslušných hodnot a následně je zapisuje do SQL databáze. Pokud zde již tato skupina existuje, připiše se na konec řady dat. Jestliže aplikace skupinu dat nenajde, vytvoří ji samostatně a poté do ní dále zapisuje příslušné hodnoty. V podkapitole Úvod a popis SQL databází je stručně popsán princip SQL databáze a níže v popisu funkcí je uveden přibližný princip zápisu dat a následné čtení z databáze.

Funkce potřebné pro komunikaci s COM portem

- COMTest
- Cti_data
- Odesli_data
- Nacti_nastaveni_Click
- Uloz_nastaveni_Click

Popis jednotlivých funkcí

void COMTest()

Funkce zjišťuje dostupné COM porty v zařízení. Dostupné porty se poté zobrazí k výběru nad tlačítkem Načti porty

private void Cti_data(object sender, EventArgs e)

Tato funkce je volána cyklicky a ukládá data ze vstupní bufferu COM portu do třídícího bufferu vytvořeného v aplikaci.

private void Odesli_data(string data)

Vstupní parametry funkce je řetězec, který je určen k odeslání dat skrze COM portu

private void Uloz_nastaveni_Click(object sender, EventArgs e)

Při nastavení všech parametrů komunikačního kanálu lze toto nastavení uložit do souboru s názvem *init.txt*. Pokud tento soubor neexistuje, bude vytvořen a následně se do něj zapíše nastavení COM portu. Při dalším spuštění aplikace je tento soubor načítám a COM port se otevírá s uloženým nastavením. Tato funkce slouží k jednoduššímu a pohodlnějšímu ovládání aplikace.

private void Nacti_nastaveni_Click(object sender, EventArgs e)

Funkce slouží pro zjištění aktuálního nastavení komunikace. Tzn. zjištění aktuálně používaného COM portu, jeho rychlost, parita a počet stop bitů. Při změně jakýchkoliv parametrů sériového portu je velmi důležité změnit i parametry uložené v Bluetooth modulu, jinak tato zařízení nebudou mezi sebou komunikovat.

Úvod a popis SQL databází

Historie jazyka SQL spadá do 70. a 80. let minulého století. První standard byl přijat v roce 1986 (označován jako *SQL86*). Časem se však projevily některé nedostatky. Opravená verze je z roku 1992 a je označována jako *SQL92*. Ten je v oblasti relačních databází standardem dodnes. Jazyk v sobě zahrnuje nástroje pro tvorbu databází (tabulek) a dále nástroje na manipulaci s daty (vkládání dat, aktualizace, mazání a vyhledávání informací).

[21]

SQL příkazy se dělí na čtyři základní skupiny:

- Příkazy pro manipulaci s daty (SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE,...)
- Příkazy pro definici dat (CREATE, ALTER, DROP,...)
- Příkazy pro řízení přístupových dat (GRANT, REVOKE,...)
- Příkazy pro řízení transakcí (START TRANSACTION, COMMIT, ROLLBACK,...)

[22]

Softwarové řešení

Databázový soubor se nachází přímo v kořenovém adresáři aplikace a aplikace má pevně nastavenou přístupovou cestu k souboru. Pro jeho kontrolu lze otevřít soubor jak z aplikace, prostřednictvím 4. záložky, nebo přímo v kořenovém adresáři pomocí programu QUERY ANALYZER 3.5 Integrovaného v OS WM6.5 Profesional.

Funkce otevření DB souboru

```
private void button_Test_DB_Click(object sender, EventArgs e)
```

Pro práci s SQL databázovým souborem bylo nutné nejprve vytvořit databázový soubor prostřednictvím programu Visual Studio a následně vložit do aplikace řetězec s cestou k DB souboru. Při každém stisku tlačítka TEST DB se založilo nové spojení s DB souborem a načetla se databáze do grafického prvku nad tlačítkem TEST DB.

6.4 Popis komunikace a inicializace SD karty

Při komunikaci s SD kartou volíme mezi režimy inicializace a režimem samotné datové komunikace. Samozřejmě, že se nemusí využívat režim datové komunikace a můžeme komunikovat v režimu inicializace. Jediný rozdíl mezi těmito režimy je rychlost komunikace na sběrnici. Zatímco je komunikační frekvence sběrnice v inicializačním režimu v intervalu 200 až 400 kHz, v režimu datové komunikace je omezení na 25MHz. Dodržení frekvence sběrnice v inicializačním režimu je nutný pro korektní inicializaci SD karty. Při komunikaci s SD kartou se využívá jednoduchého komunikačního protokolu na základě příkazu a odpovědi. Seznam

využívaných příkazů při komunikaci je uveden v tabulce Tabulka 21. Formát příkazu má délku 6 bytů. Jeho struktura je znázorněna v Tabulce 20.

Byte 1			Byte 2-5	Byte 6	
7	6	[5:0]	[31:0]	[7:1]	0
0	1	Příkaz	Argument příkazu	CRC	1

Tabulka 20: Struktura příkazu SD karty

Samotný příkaz lze jednoduše určit z jeho názvu, protože číslo následující po znacích CMD označuje číslo příkazu, které se má odeslat. Dále musíme k tomuto číslu připočíst číslo 64, jelikož ve struktuře příkazu je na pozici 6. bitu vždy jednička, což odpovídá číslu 64. Pro názornou ukázkou předvedu formát odeslání příkazu pro softwarový reset. Příkaz je označován CMD0, čili první byte bude mít hodnotu 64. Argument příkazu není vyžadován, proto můžeme odeslat samé nuly a hodnota CRC je pro tento typ příkazu dána a tou je číslo 149.

Příkaz	Typ odpovědi	Argument	Popis příkazu
CMD0	R1	Bez argumentu	Softwarový reset SD karty
CMD1	R1	Bez argumentu	Aktivace inicializačního procesu
CMD16	R1	[31:0]velikost bloku v bytech	Nastavení velikosti bloku dat pro čtení i zápis
CMD17	R1	[31:0]adresa	Čtení jednoho bloku dat z požadované adresy
CMD24	R1b	[31:0]adresa	Zápis jednoho bloku dat na požadovanou adresu
CMD59	R1	[31:1] bez argumentu; [0:0] CRC nastavení	CRC zapnuta => bit[0:0] = 1 CRC vypnuta => bit [0:0] = 0

Tabulka 21: Přehled využívaných příkazů při komunikaci s SD kartou

Úplný přehled příkazů pro komunikaci s SD kartou je v datasheetu [2].

Formát odpovědí na příkazy

Odpověď typu R1 – tato odpověď odeslána kartou po každém přijatém příkazu, s výjimkou příkazu CMD13. Odpověď má velikost dat 1 byte a význam jednotlivých bitů je popsán v Tabulce 22. Nejvyšší bit má vždy hodnotu 0.

Odpověď typu R1b – značí stav zaneprázdnění karty, tzv. BUSY stav. Odpověď má stejnou délku jako R1, ale rozdíl je v hodnotě bytu. Pokud je karta zaneprázdněna, je hodnota R1b

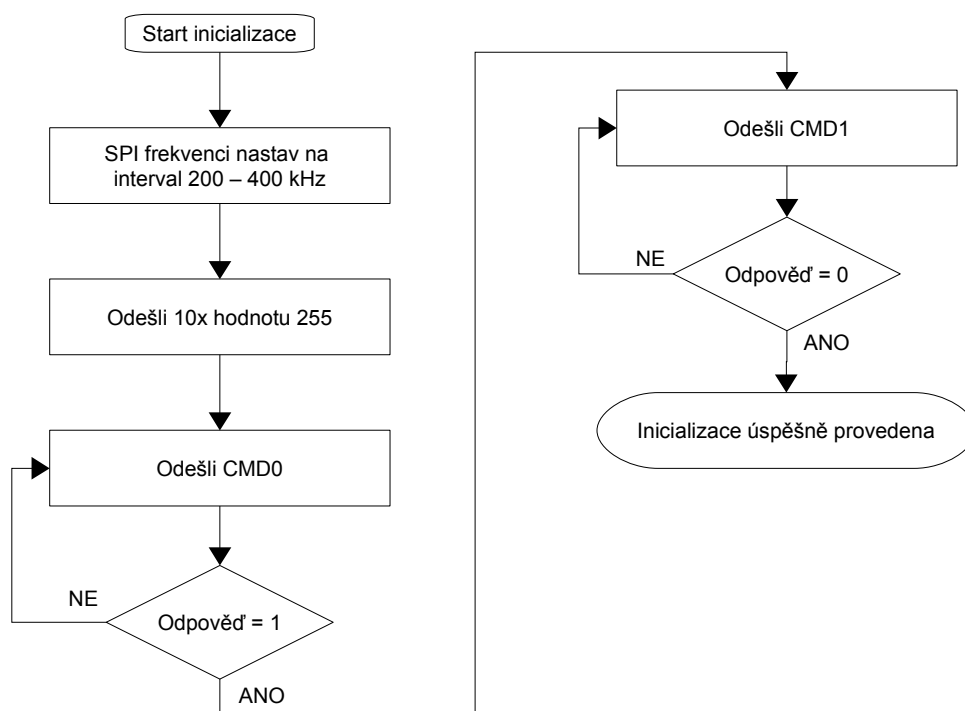
rovna 0 a když je hodnota bytu různá od nuly, je karta připravena pro další příkaz.

Bit	Význam
0	In idle state - Probíhá inicializační proces
1	Erase reset - Reset mazání dat byl přerušen ještě před vykonáním příkazu, protože byl přijat příkaz na přerušení sekvence
2	Illegal command – byl detekován nesprávný příkaz
3	Communication CRC error – chybná CRC kontrola posledního příkazu
4	Erase sequence error – chyba při vykonávání mazací sekvence
5	Address error – špatná adresam která se neshoduje s nastavenou délkou bloku
6	Parameter error – Parametr příkazu byl mimo povolený interval argumentu daného příkazu

Tabulka 22: Struktura odpovědi R1

Algoritmus inicializace SD karty

Inicializace SD karty probíhá podle vývojového diagramu zobrazeného v Obr. 16



Obr. 16: Algoritmus inicializace SD karty

[2]

Softwarové řešení

Pro inicializaci SD karty jsem postupoval dle doporučení ve specifikaci standardu [2] o inicializaci SD karty, velikosti přenášeného bloku dat a jeho zápis i čtení. Samotný inicializační proces je rozdělen na dvě části. První je samotná inicializace SD karty ve formě korektního spuštění vnitřních procesů a druhou částí je přepnutí karty do funkčního režimu, ve kterém je možno s kartou komunikovat a provádět čtení nebo zápis dat. Záměrem rozdělení inicializačního procesu na dvě části je možnost využít druhé části jako softwarového resetu bez potřeby psát další funkce, tedy zjednodušení a zpřehlednění programu MCU.

Funkce potřebné pro práci s SD kartou:

- InitSDcycle
- InitSDsequence
- Sdcommand

Popis jednotlivých funkcí

void InitSDcycle (void)

Funkce sloužící k částečné inicializaci SD karty. Vyšle po SPI sběrnici 10x hodnotu 255. Vyslaná hodnota samo o sobě nemá žádný význam, v tomto případě je důležitý hodinový signál, čili pravý význam této funkce je vyslat 80 hodinových cyklů pro započetí inicializačního procesu.

void InitSDsequence (void)

Tato funkce je druhou částí inicializačního procesu. Odesílá CMD0 čímž provede softwarový reset a CMD1 do SD karty a spouští vnitřní proces inicializace karty.

unsigned char SDcommand (unsigned char cmd, unsigned char param1, unsigned char param2, unsigned char param3, unsigned char param4, unsigned char crc)

Funkce posílání příkazu pro SD kartu a vytvoření správného formátu příkazu. Odesílá zprávu dlouhou 6 bytů přesně v pořadí, v jakém jsou vstupní parametry funkce.

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo demonstrování využití bezdrátové komunikace PDA či MDA se vzdálenou jednotkou a přenos informací oběma směry. Základní problém byl v dekódování dat ve směru do MDA, protože ve většině funkcí čtení dat ze sériového portu byly data převáděna na ASCII znaky. Vyřešeno pomocí sekvenčního čtení dat z přijímacího bufferu. K ověření funkčnosti byl vytvořen program na spínání LED osazených na jednotce a čtení informací o vložené SD kartě.

Demonstrační program měl fungovat tak, že po zapnutí jednotky se inicializuje SD karta a jednotka se připraví pro možnost přijímání příkazů z MDA. Po připojení MDA zhasne blikající modrá LED a od tohoto okamžiku je možno řídit čtyři zelené LED pomocí čtyř *checkboxů*. Další možností je zjištění informací o SD kartě, které se vypíší do textového pole na poslední záložce aplikace. Datová velikost příkazu je většinou 6B, kdežto velikost přenášených dat je blok 512B. Data se v MDA třídí a řadí dle právě vykonávaných příkazů. Pro demonstraci čtení dat z SD karty bylo vytvořeno několik souborů s daty, která se posléze načítají do DB souboru v MDA. Jednotka měla umožňovat komunikaci po CAN sběrnici, ovšem nastal problém se součástkami, které nedorazily ani po sedmi týdnech. Proto bylo vytvořeno řešení s výše zmíněnými LED. Testovaná vzdálenost mezi jednotkou a MDA byla přibližně 25m s přímou viditelností na volném prostranství s mnou vytvořenou anténou $\lambda/4$.

Vytvořená práce tedy splňuje požadavek na bezdrátový přenos dat na střední vzdálenost.

Další vývoj projektu by mohl směřovat na lepší grafické zpracování dat na PDA(MDA) a vytvoření další aplikaci i na PC, která by dokázala zpracovat data z SD karty. Také by se mohl vytvořit komunikační protokol s CAN a umístit jednotku do elektromobilu Kaipan, ve kterém by ovládala různá zařízení na sběrnici (např. Světla) a ukládala by veškerá data spojená s jízdou vozidla na SD kartu, případně přímo zobrazila v PDA(MDA). Pro ještě komfortnější obsluhu by se mohlo využít GSM modulů a data přijatá z jednotky by se mohla zobrazovat v podstatě jakékoliv vzdálenosti od jednotky, ovšem s nevýhodou nutnosti datového tarifu.

Aplikace bude mít přínos v elektromobilech, kde se bude využívat veškerých zásob energie a zobrazovat takřka jakékoliv informace přímo na displeji PDA, popřípadě ovládat veškerá zařízení připojené na sběrnici, která ovšem neovlivní bezpečnou jízdu automobilu. Výhoda by byla ve spotřebě elektrické energie, jelikož spotřeba samotné jednotky je maximálně 0,5W a samotné PDA má minimální nároky na spotřebu elektrické energie, typicky pracuje se spotřebou do 1W při plně nabitém akumulátoru. Kdežto spotřeba palubního počítače automobilu často překračuje i 10W.

Použitá literatura

- [1] VO-R/10/08.2005-24. *Využívání rádiových kmitočtů a provozování zařízení krátkého dosahu*. Praha: Český telekomunikační úřad, 2005. 16 p.
- [2] SANDISK CORPORATION *SanDisk Secure Digital Card*. 1.9th ed. Freescale, 2003.
- [3] FREESCALE *Bosh Controller Area Network (CAN) Version 2.0*. 3rd ed. Freescale, 1998.
- [4] RAIDA, Z., et al. *Elektromagnetické vlny Mikrovlnná techniky*. Brno: FEEC VUT Brno, 2010.
- [5] Rayson *BTM-112 Class2 BC04-ext Module*; Taiwan, 2006.
- [6] FREESCALE SEMICONDUCTOR *MCF51AC256 ColdFire Integrated Microcotroller Reference Manual*. 4th ed. 2009.
- [7] BURDA, J. *Základny mobilních systémů a GSM*. Olomouc.
- [8] BRADÁČ, Z., et al. Bezdrátový komunikační standard ZigBee. *Automatizace*, 2005, vol. 4/48, p. 261–263.

- [9] MAXIM *3.0V to 5.5V, Low-Power, up to 1Mbps, True RS-232 Transceivers Using Four 0.1 μ F External Capacitors*. 5th ed. Freescale, 1999.
- [10] FREESCALE *SD Card Reader Using the M9S08JM60 Series*. 0th ed. Freescale, 2008.
- [11] Bluetooth SIG. *How it Works* [online]. 2010, [citováno dne 28.1.2010]. <<http://www.bluetooth.com/English/Technology/Works/Pages/default.aspx>>.
- [12] Rita Pužmanová. *Bezdrátové lokální síť WLAN podle IEEE* [online]. 9.4.2002, [citováno 16.4.2010]. <<http://www.lupa.cz/clanky/bezdratove-lokalni-site-wlan-podle-ieee/>>.
- [13] Redakce HW serveru. *Co je to Wi-Fi – úvod do technologie* [online]. 21.6.2003, [citováno 16.4.2010]. <http://hw.cz/ethernet/wifi/wifi_co_to_je.html>.
- [14] František Javůrek. *Jednoduchá a zisková kolineární anténa* [online], [citováno 17.4.2010]. <<http://www.radio-foto.net/radio/kolinear.php>>.
- [15] SOUEaEaU Vejprnická 56 Plzeň. *YAGI antény* [online]. 2002, [citováno 18.4.2010]. <http://www.edunet.souepl.cz/~weisz/dilna/en_ant/ant4_4.php>.
- [16] SOUEaEaU Vejprnická 56 Plzeň. *Parabolické reflektory* [online]. 2002, [citováno 18.4.2010]. <http://www.edunet.souepl.cz/~weisz/dilna/en_ant/ant4_2.php>.
- [17] SOUEaEaU Vejprnická 56 Plzeň. *Planární (ploché) antény* [online]. 2002, [citováno 18.4.2010]. <http://www.edunet.souepl.cz/~weisz/dilna/en_ant/ant5_3.php>.
- [18] CORONIS. *Specification* [online], [citováno 19.4.2010]. <<http://www.coronis.com/en/specifications.html>>
- [19] A S M spol. s r.o. *Koax. kabel xl-RLF 12, 0,15 dB/m (15,6 mm koax)* [online]. 2008, [citováno 20.4.2010]. <<http://www.asm.cz/zbozi/koax.-kabel-xl-rlf-12-015-dbm--156-mm-koax.html>>
- [20] Jack Dobiash. *FAT16 Structure Information* [online]. 17.6.1999, [citováno 3.5.2010]. <<http://home.teleport.com/~brainy/fat16.htm>>
- [21] Jaromír Skřivan. *Datbáze a jazyk SQL* [online], 4.8.2000 [citováno 5.5.2010]. <<http://interval.cz/clanky/databaze-a-jazyk-sql/>>
- [22] Wikipedie. *SQL* [online], 19.3.2010 [citováno 5.5.2010]. <<http://cs.wikipedia.org/wiki/SQL>>